▸ Kirkus
2013年度最佳图书

▸ 超级科普畅销书作者
尼尔·舒宾又一力作

THE UNIVERSE WITHIN

NEIL SHUBIN

身体中的宇宙

探索宇宙、地球与人类进化的共同历史

電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
http://www.phei.com.cn
译言·东西文库

[美] 尼尔·舒宾 著　严晨风 译

版权信息

书名:身体中的宇宙：探索宇宙、地球与人类进化的共同历史

作者:[美]尼尔·舒宾（Neil Shubin）

译者:严晨风

ISBN:9787121292408

电子工业出版社授权中信联合云科技有限责任公司制作发行

献给米歇尔、纳撒尼尔和汉纳

MICHELE, NATHANIEL AND HANNAH

推荐序

《身体中的宇宙》是尼尔·舒宾的一部科普佳作。

作为一名地质学家，尼尔·舒宾从研究貌似冰冷无趣的岩石的经历中，感悟到星系、宇宙和生命的产生过程具有密不可分的关系，并通过自己多年地质考察的经历，将所见到的各种地质和自然现象，绘声绘色地讲出来，使读者有身临其境的感觉。

本书中对各种自然现象的观察、解释都非常严谨，不同于科幻小说。读者在随作者进行各种有趣的地质旅行时，会不由自主地联想到自身的各种生活经历，一些对自然的疑惑不解之处，也会在作者轻松愉悦的阐述中豁然开朗，得到科学的熏陶。

严晨风将本书翻译成中文，是非常值得赞许的。他对原文准确的理解和流畅的语言，保留了原作者的风格，堪称科普译著中的佳作。

鉴于该书的知识性、趣味性、易读性，我相信它会受到不同年龄、不同知识和专业背景的读者的欢迎。

肖龙

2015年5月15日武汉

中国地质大学（武汉）行星科学研究所所长

译者序
很高兴在宇宙的一角遇见你

《身体中的宇宙》是作者尼尔·舒宾的第二部科学著作，于2013年在美国出版，非常荣幸能够成为该书中译本的译者，内心诚惶诚恐。

这是一本极优秀的面向公众的科学作品。就内容而言，该书的涉及面相当宽泛和宏大。作者本身是一位古生物学家，但他大大扩展了这个课题。这让我想起William Schopf老先生的著作《Cradle of Life》，当时也是怀着敬仰的心情读完的。同是古生物学家，两者均探讨了生命起源的话题，但舒宾的这本书中牵涉了更多的内容，作者显然希望将古生物学乃至地球上的生命现象扩展，将其置于全宇宙的空间尺度，从大爆炸以来的时间尺度下来看待。正如卡尔·萨根所言：我们是星尘。——这本书将是对此最好的诠释，它让我们更能认清自己的位置。

而在我们生活的这个时代，这本书又具有特殊的意义。就在本书的翻译期间，科学界又取得了许多重要的进展，我们获得了木星与土星的冰冻卫星上存在冰下海洋的更多证据，并在近日公布了一项飞往木卫二的探测计划；就在我写下这些文字的时候，新视野号探测器正日夜兼程地朝着冥王星飞去，下个月就将抵达，从而完成对原有的“九大行星”中最后一个成员的拜访，这也将是人类对柯伊伯带天体的首次探测行动，我热切地期盼看到它传回的图像和其他结果；欧空局的罗塞塔探测器经过10年飞行，与一颗彗星成功交会并首次将一颗着陆器释放到彗核表面；预计在2018年，下一代大型空间天文望远镜“詹姆斯·韦伯”就将发射升空，它将让我们能够一窥宇宙最遥远的边疆……

近年来太阳系外行星，以及行星地质学和天体生物学的发展如日中

天，我们或许正越来越接近于发现宇宙中其他生命现象的那一天，甚至这一时刻的到来可能会比我们很多人想象的更早，根据美国宇航局一些官员的说法，这一天可能在未来20~30年内到来。在这样的历史时刻，思考我们自身在茫茫宇宙之中，在漫漫时间长河里的位置就更加显得难能可贵。

翻译本书期间正值我学习工作异常繁忙的时期，因此常常是在深夜或周末独自安静翻译。但我完全没有感到乏味。作者的语言风趣幽默，一些耳熟能详的典故在他的笔下却能以一种新鲜的视角呈现，煞是有趣，有时候看到好玩的地方自己还会独自乐上好一会儿，我想，读到这本书的你也会是一样。

然而这本书本身则属于严肃的科学通俗读物，阅读时可能需要一定的背景知识，考虑到读者人群的多样性和接受程度的差异，我在翻译过程中已经尽可能进行补充，在我认为可能涉及专业知识的地方加了大量注释，可以帮助读者更好地理解相关内容，另外在本书的最后还附有扩展阅读的内容，有兴趣的读者可以自行参阅。

我感谢东西文库和译言网的编辑，以及其他工作人员为这本书的出版所付出的努力，尤其感谢李惠女士在翻译本书的全过程中与我保持的良好沟通以及对全书译文文字所做的润色和修改。

正如卡尔·萨根在《暗淡蓝点》中所说，地球是巨大宇宙剧场中的一个小小舞台，我们都在这个小小舞台的一角过完每个人的一生。这个时代有很多缺点，但我仍充满感激。2010年的2月22日，我的人生有了重要的进展：我有了一个女儿，当时的那种激动和难以置信的感觉至今仍然记忆犹新。仿佛昨天才第一次与你相遇，而转眼之间，你都已经变成一个活泼聪明的幼儿园小姑娘了。我想对女儿说，作为父亲，我陪伴在你身边的时间太少，我会在往后的日子里尽力弥补。爸爸期盼你长大能成为一个善良而正直的人，勇敢地向前走出自己的路，通过自己的辛勤努力获得幸福的生活。

最后，在本书行将付梓之际，我非常荣幸地邀请您，我的读者朋友们，一起来体会这静谧的宇宙和自然之美。

严晨风

2015年6月20日于上海

作者序

大部分工作时间里，我都在研究地上的岩石。渐渐地，我对生命和宇宙产生了一些感悟。我的职业理想是揭示构成人类身体奥秘的线索——它们或隐匿在炎热的荒漠之中，或深埋于北极的冰封之下。尽管这种雄心壮志听起来有些古怪，但它与我的科学家同行们——他们或专注于研究遥远恒星与星系的星光、绘制大洋洋底地图，或在对太阳系行星的荒凉地表进行勘察——的愿望并无二致。将我们的工作紧密相连的，是人类所发展出的一些最伟大的思想，这些思想能够帮助我们解释自身和这个世界的来龙去脉。

这些感悟启发了我创作第一本书——《你是怎么来的：35亿年的人体之旅》[注]。我们身体的每一个器官、每一个细胞和DNA片段之中，都蕴藏着超过35亿年的生命历史。这些历史就储存在我们的体内。而有关人类进化历程的线索，则隐藏在岩石中的蠕虫印痕化石、鱼类的DNA以及小池塘里那一团团的藻类之中。

然而在我构思那本书的时候，有一个想法变得清晰起来，那就是：不管是蠕虫、鱼类还是藻类，所有这些都只是通往更深层联系的通道——这种联系将把时间追溯到数十亿年前，那时生命甚至地球本身都还没有形成。在我们的体内，记载着恒星的诞生、天体的运行，甚至时间本身的起源。

在过去的大约137亿年里，宇宙从一次大爆炸开始，恒星不断形成又不断毁灭，我们的行星从宇宙物质中冷凝成形。在此后的漫长岁月中，地球围绕着太阳运行，它的表面历经了沧海桑田——高山、大海甚至整块的大陆不断出现又消失。历史学家阿诺德·汤因比[注]对于历史有

一句名言：“该死的事一件接着一件。”而宇宙、太阳系以及行星，所有这一切相互融合的地方，便是我们的身体。

在过去的一个世纪里，接二连三的发现不但确认了地球长达数十亿年的古老年龄，也确认了宇宙的广袤无边以及我们在地球生命进化树中卑微的位置。在这种背景下，你可能会想：难道科学家们的职责，就是让人们在无垠的时间和空间面前，感到自身的渺小和微不足道吗？

然而，当我们击碎最微小的原子、观测最广袤的星系、探索埋藏在最高的山峰之上和最深的海底之下的岩石、破解世界上各种现存生物的DNA密码时，我们正在揭开至高无上的美丽真相。关于万物的终极故事，就蕴藏在我们每一个人的体内。

---

1. 《你是怎么来的：35亿年的人体之旅》（Your Inner Fish），作者的第一本书，其中文版于2009年由中信出版社出版。
2. 阿诺德·汤因比（Arnold Toynbee，1889-1975），英国历史学家。

第一章

世界之巅

从天空中俯瞰，我和同伴就像是在巨大的岩石、积雪和冰原之上的两个小黑点。我们刚刚结束了一次长途跋涉，正疲惫不堪地赶回营地，脚下是夹在世界上最广袤的两片冰原之间的一道山脊。北方的天空晴朗无云，从东边北冰洋上的大片浮冰，到西边格陵兰一眼望不到边的冰原，景色一览无余。在一天收获颇丰的化石勘察和令人兴奋的徒步旅行之后，目睹这无与伦比的壮丽美景，我们感觉自己似乎正行走在世界之巅。

但这个白日梦很快便被打断了——我们脚下的岩石类型起了变化。随着我们在裸露的基岩上行进，脚下棕褐色的砂岩逐渐变成了粉色的灰岩岩层。根据之前的经验，这附近可能会有化石。我们花了几分钟的时间仔细查看附近的岩石，突然，一块甜瓜大小的岩石一角发出的一道不寻常的闪光吸引了我的注意。野外工作的经验告诉我，要重视这种时刻的直觉。我们深入格陵兰岛的目的，正是为了搜寻一些微小的化石。于是我蹲下身子，用放大镜仔细查看这块岩石。吸引我注意力的那道闪光是从一个微小的白色斑点上发出的，这个小白斑还没有一粒芝麻大。我蹲下来，花了约5分钟的时间近距离地观察这块石头，然后将它递给了同事法里希（Farish），征求他的专业意见。

法里希用他的放大镜仔细地查看这个白斑，整个人一动不动，像是凝固了一般。突然，他回过头来看着我，目光里满是抑制不住的情绪——除了难以置信外，还有惊喜。他站起身来，脱掉手套，将它们用力扔到了20英尺[注]以外，然后他整个人冲过来，给了我一生中经历过的最热烈的熊抱，差点让我摔倒。

法里希的狂喜让我忘却了这件事本身有多么可笑——我们因为发现了一颗比沙粒大不了多少的牙齿而欣喜若狂。我们付出了3年的时间、无数的美元，还有许多次扭伤韧带的代价，就是为了寻找它：将爬行动物和哺乳动物联系在一起的2亿年前的古老证据。不过这个项目可不是迷你版的战利品搜寻游戏，这枚小小的牙齿代表着我们自身与那些早已消失的古老世界之间的一条纽带。在格陵兰岛的这些古老岩石中，隐藏着人类与那些塑造了我们的身体、行星，甚至整个宇宙的力量之间的深刻联系。

发现我们与自然界之间的联系，就像探寻视错觉图案背后隐藏的模式。在生活中，我们每天都会接触到身体、岩石还有星空。如果你有一双受过训练的眼睛，那么所有这些熟悉的事物都会变成更深层的现实。当你学会透过这样的一双眼睛去观察世界时，身体和星空就会变成通往过去的窗口。这过去是如此广阔，几乎让人难以想象，有时甚至是灾难性的；同时，它也是所有生命和孕育它们的宇宙所共同拥有的。

如此巨大的世界，如何会隐藏在一枚小小的牙齿之中，又如何会隐藏在我们的身体之中呢？故事要从我们结束那次对冰封的格陵兰岛山脊的考察之旅开始讲起。

想象你的眼前是一片广阔的场景，这场景一直延伸到你目光所及的尽头。你的任务是在其中寻找一个化石，它的大小就同本句结尾的句号一样。如果你觉得化石相比于这片场景来说太过微小，那么你要知道，这整个场景与地球的表面积相比也同样是非常渺小的。要想了解如何搜寻过去的生命，你不能将岩石当作静止的物体，而要将其视为一种有着狂暴历史的动态实体；同时，你还要将我们的身体乃至整个世界，都视作时间长河之中的一瞬。

在过去的150年里，化石猎人们用来发现新的化石搜寻区的方法基本上没有什么变化。这一方法的原则非常简单：首先，在地球上找到符合你感兴趣的研究课题所涉及的年龄条件的岩层；其次，这些岩石的类

型必须有可能保存化石；最后，这些岩层最好暴露于地表之上。简而言之，越不需要动手挖掘越好。我在《你是怎么来的：35亿年的人体之旅》一书中对这种方法进行过描述。正是借助于这种方法，我和同事们在2004年发现了一块从水生生物向陆地生物转变的过渡时期的鱼类化石。

20世纪80年代早期，我还是一名学生。当时一个小组的工作吸引了我——这个小组开发出一些工具，不断地寻找新的化石区。他们的目标是在化石记录中找到哺乳动物最古老的祖先。当时这个小组在美国西部的许多地方已经发掘出一些类似鼩鼱的小型动物以及它们的爬行动物近亲的化石。但到了80年代中期，他们的成功却把自己带入了死胡同。有一句俏皮话很好地概括了这一困境："每一个新发现的缺失环节，都会在化石记录中造成两个新的断档。"他们已经完成了创造新断档的使命，而其中的一个断档就隐藏在有着2亿年历史的岩石里。

对新化石发掘地的搜寻会得到经济和政治因素的助力：由于地质勘查有助于探明油气及其他矿产资源，因此各国都支持在本国境内开展的地质调查。因此，几乎每一家地质学图书馆中都会收藏有各类学术期刊文章和报告，当然最好还能有具体到各个国家、地区或州的详细地质图，记录这些地区裸露岩层的年龄、结构和矿物组成。

法里希·詹金斯[注]教授领导着哈佛大学比较动物学博物馆的考察队。对于他们而言，寻找化石是最主要的工作，而这一工作是从图书馆开始的。法里希教授实验室的同事查克·沙夫（Chuck Sha）和比尔·阿马拉尔（Bill Amaral）在此工作中发挥了关键性的作用，他们的地质学知识能够帮助他们预测最有可能找到化石的地点，更重要的是，他们训练有素的眼睛能够发现那些非常微小的化石。他们之间的关系往往表现为漫长而友好的争论：其中一人提出新的想法，另一人则立即予以推翻。如果某个想法竟然能够在他们的争吵中坚持到最后，那么两个人就会达成一致，并将这个想法报告给法里希教授，由他凭借自己敏锐的逻辑与

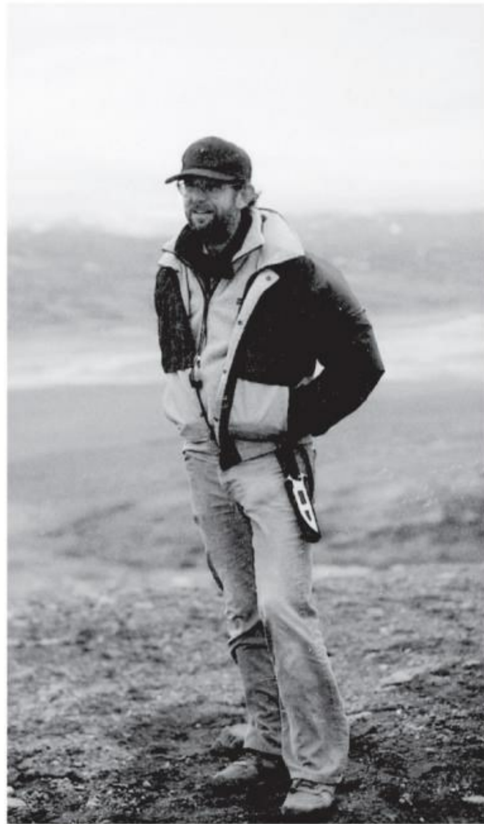
科学判断力对它进行评估。

1986年的一天，比尔在和查克闲聊时，突然看到查克的桌上放着一本《壳牌石油手册：二叠纪和三叠纪的世界》。随手翻阅中，比尔注意到，在其中一张格陵兰岛的地图上有一小片用阴影线标出的区域——那是三叠纪的岩层，位于格陵兰岛的东部海岸，纬度大约为北纬72度，大致与阿拉斯加最北端的纬度位置相当。他当即表示，这里可以作为下一个开展考察工作的地点。于是一场新的争论开始了。查克指出，这里的岩石并非适合的类型，比尔予以反驳，查克则再次反击。

刚巧，在查克的书架上就有能够结束这场争论的资料。数周之前，查克在图书馆随手翻检被丢弃的文件资料时，发现了一篇20世纪70年代由一个丹麦地质学家小组撰写的名为《对于东格陵兰斯科斯比地与詹姆森地三叠纪地层学的修正》的论文。当时谁也没有想到，这篇从垃圾堆里“捡来”的论文，将会在未来数十年里对我们的生活产生深远的影响。在比尔和查克查看了论文中的地图后，这场争论几乎立即终止了。

当时我的研究生办公室就在走廊的一头，像平常下午一样，我走去查克的办公室串门，看看他们在忙什么。当时比尔正到处踱着步，显然他们刚刚有过争论，余波还没有完全消散。比尔没说什么，只是把查克找到的那份地质论文丢到了我面前。论文中的地图上所标注的，正是我们所需要的岩石类型。从格陵兰岛东部海岸，跨越海洋，一直到冰岛，这里的岩石类型正是发掘早期哺乳动物、恐龙化石和其他科学宝藏的理想之地。









1-1 格陵兰岛考察队成员，从左上角开始顺时针依次为：法里希，一身军人装束；查克，聪明的化石猎手；比尔，野外的行动派；我，在那里的第一年我做了很多糟糕的选择（请注意我的帽子）。

这份地图看起来很奇特，甚至有一种不祥的感觉。格陵兰岛东海岸地处偏远，山地崎岖。那里的地名都是以早期探险家的名字命名的：詹姆森地，斯科斯比地，还有魏格纳半岛[注]。我还知道，有很多探险家在探索这一地区时都是有去无回。

所幸，这次远征考察之旅的任务最终落到了法里希、比尔和查克的肩膀上。在探险家们初次抵达那里之后的大约60年里，他们已经积攒了许多关于如何在不同的野外环境下开展工作的来之不易的经验。当然，你也很难为这样的考察之行做足够充分的准备。正如一名经验丰富的考察队领队曾对我说过的那样："没有什么能和你的第一次北极之行相提并论。"

在格陵兰最初的那一年里，我得到了很多教训，11年后当我自己组织北极考察队时，这些经验和教训都派上了用场。在当年那次北极之行中，我做了很多蠢事——带着一双会透水的皮靴、一顶又小又旧的帐篷，还有一个大大的手电筒来到了一个满是泥泞、冰雪还有午夜阳光的地方，只有不断默念自己的座右铭才能让我保持微笑："永远不要为第一次做什么准备。"

第一次的北极之行中，最让人伤脑筋的是寻找第一次宿营的地点：我们的决定是在直升机上仓促做出的。直升机起飞后就等于是在烧钱，因为在北极使用直升机的费用高达每小时3000美元。考虑到古生物学考察的预算，我们只能更多地使用破旧的皮卡，而不是贝尔212"双休伊"直升机，所以我们得抓紧时间。当直升机抵达我们在实验室依照地图选定的区域上空之后，我们便快速观察了四周环境，在降落前迅速核对了一些重要的信息——我们需要找到一块足够干燥并且平整的地面，它不能离水源太远，这样才能在这里扎营；与此同时，它又必须足够靠

近内陆，从而避开北极熊的骚扰；另外，这里必须能避开强风，还要靠近我们将开展研究的出露岩层。

通过地图和航空图像，我们对这一带的大致情况有了较好的了解，并最终在一个宽阔的谷地中的一小片漂亮苔原上扎下了营地。附近有我们可以取水的小溪，并且这里地形平坦干燥，可以安全地搭建帐篷。从这里甚至还可以远眺峡谷东侧连绵的雪山和冰川构成的壮丽美景。但很快，我们便发现了一个大问题——在步行可以抵达的范围内，并没有很好的出露岩层。

扎营的问题基本解决之后，我们每天便只剩下一个念头——找到那些岩石。我们登上营地附近的地势最高点，用双筒望远镜向远处眺望，寻找那些在比尔和查克的地图中看上去是如此显眼的出露岩层。我们的搜寻工作有一个有利之处——我们要找的岩层是偏红色的，它们被称作“红色岩层”，比较好认。

我们分组出发去寻找红色岩层。查克和法里希一组，去攀登那些能够俯瞰南面岩层的山头。我和比尔一组，去寻找一个合适的位置观察北面的岩层。这样的搜寻工作进行3天之后，两个小组都带回了同样的消息：在东北方向距离这里大约6英里的地方，有一小片红色地带。针对这一小片红色岩层，我们又展开了争论，在那一周剩下的时间里，我们一有机会就会用双筒望远镜仔细观察那片区域。有几天当光线正好的时候，我们发现那里似乎是一片非常适合化石发掘工作的山脊。

最后大家决定，由我和比尔组成探路小队去探查前往那片出露岩层的路线。由于我对在北极地区行走毫无经验，加上选的鞋子又失败透顶，这一路对我而言，实在是一种煎熬——我们先是经过了一片砾石地，然后是一小片冰川，接下来基本上就是在泥浆里走了。这些泥浆由潮湿的黏土形成，当我们的脚踩进去再抽出来的时候，就会发出一种很不文雅的声音。我们身后没有脚印，因为它们很快就被黏稠的泥浆淹没了。

经过3天的探路，我们终于找到了一条通向目标岩石区的路径。4个小时的长途跋涉后，我们发现，此前在营地用双筒望远镜看到的那块红色区域原来是一些悬崖、山脊和小丘，而组成它们的岩石正好是我们想要的类型。运气好的话，可能会有由于风化作用而暴露于岩石地表的化石骨骼。

现在，我们的目标是将查克和法里希带到目标岩石区。我们必须尽快赶路，才能在返回营地之前留出尽可能多的时间来考察。当带领着整个团队抵达目的地时，我和比尔感觉就像是骄傲的主人正在向客人展示自家的财产。长途跋涉虽然让法里希和查克非常疲惫，但仍然对可能找到化石的前景感到兴奋。他们没有心思闲聊，很快便进入了古生物学家的状态：缓步走在岩层之上，眼睛紧紧盯着地面，仔细搜寻岩石表面骨骼化石的迹象。

比尔和我前往大约半英里之外的一处山脊，在那里能观察到更北面的情况。短暂的休息之后，比尔开始四下张望，寻找任何他感兴趣的东西：同事们、北极熊或是其他的野生动物。突然他停了下来，说："查克趴下了！"我把望远镜移过去，看到查克正用手和膝盖撑着地，趴在一块岩石上。对于一位古生物学家而言，这只意味着一件事：查克找到骨骼化石了。

我们缓步向查克那里走去，结果证明我的猜测是正确的，他真的找到了一小片骨骼。但我们走到这个地方已经花费了四个小时，现在必须往回走了。在回程的路上，法里希走在最前面，然后是比尔、查克和我，我们四个人排成一队，每两个人之间大约相隔了30英尺。走出大约1/4英里的时候，我的眼睛突然被地上的某个东西吸引住了。这东西有一种似曾相识的独特光泽。像一小时前查克所做的那样，我蹲下身子仔细查看。发出独特光泽的物体是一块骨骼化石，大概跟我的拳头差不多大。它的左边也有很多骨骼化石，右边更多。我召唤法里希、比尔和查克过来看我的发现，结果却没人回应。我抬头一看，立即知道了原因

——他们和我一样也趴在地上，我们全都匍匐在同一片巨大的化石散落点上。

到了那年夏末，我们将发掘出的化石全部打包运回了实验室。比尔将它们组装了起来，就像是立体拼图一样。这种生物体长大约20英尺（6米），长着扁平的牙齿、长长的脖子，以及一个小脑袋。这个怪兽四肢的解剖学特征很像恐龙，但体型相对要小一些。

这种类型的恐龙被称作“原蜥脚类”（prosauropod），在北美古生物学里占有重要地位。北美东部地区的恐龙化石最初都是在河边以及铁路或公路沿线被发现的，因为只有这些地方才有规模较大的岩层暴露。著名的耶鲁大学古生物学家理察德·斯旺-鲁尔[注]曾在美国康涅狄格州曼彻斯特[注]的一个采石场发现过一具原蜥脚类恐龙的化石。但问题在于，他只发现了化石的后半部分。后来理察德懊恼地发现，那块包含这具恐龙化石前半部分的岩石已经被运走，用作了南曼彻斯特小镇上一座桥的桥墩石料。但理查德并没有就此放弃，最终，他凭籍着手上仅有的后半部分化石对这种恐龙进行了描述。直到1969年那座桥被拆除之后，这具恐龙化石的前半部分才终于得见天日。天知道会不会还有恐龙化石隐藏在曼哈顿呢？要知道，曼哈顿岛大片的褐石建筑[注]所用的正是相同的石料！

格陵兰岛上古老的山地所形成的崎岖岩阶，在磨破我的鞋子的同时，也在诉说着这些岩石起源的故事。像混凝土一样坚硬的砂岩，从那些容易被风化侵蚀的“软弱”岩石中突出来。在更加往南的地方，地貌也几乎完全相同：混合在一起的砂岩、粉砂岩以及页岩，从北卡罗来纳州延伸穿过康涅狄格州，向北一直抵达格陵兰。这些岩层拥有一种独特的断层与沉积特征，指示着由地壳裂开所形成的陡峭崖谷中曾经存在的湖泊的位置。这些岩层中的断层、火山和湖床模式，与今天在东非大裂谷中的湖泊的情形几乎一样，如维多利亚湖以及马拉维湖[注]。地球的内部运动造成地表开裂、扩张，在其形成的裂谷地带水体聚集，最终形成湖

泊和河流。在过去，这样的裂谷也曾经存在于今天的北美大陆之上。

从一开始我们便打算追寻这道裂谷的走向。此前我们就已经知道，北美东部的岩层中保存着恐龙和其他与哺乳动物相似的小型生物化石，而查克的那份地质图，让我们一下子豁然开朗。正是顺着这根线索，我们来到了格陵兰。一到格陵兰，我们便像鸽子追随地上的面包屑一样，搜寻着可能的发现。前前后后共花费了3年的时间，最终，红色岩层提供的线索将我和法里希引向了那个冰封的山脊。



1-2 循着相对应的岩层去搜寻化石（图中黑色）。在南方成功的地质考察将我们引向格陵兰。

从山脊之上望去，远处我们的帐篷就像是地平线上的小白点。山顶的风很大，但粉色的灰岩悬崖形成了一个避风港，让我和法里希得以在这里仔细审视我们的发现。法里希的兴奋之情证实了我的直觉——那个岩石中的小白斑的确是一枚哺乳动物的牙齿。这枚牙齿具有3个牙尖和2个牙根，这正是哺乳动物牙齿的特征(注)。

有了第一次发现赋予的信心，考察小组开始在整个格陵兰岛的东部山地展开了广泛的考察工作，并在接下来的几年里发现了更多哺乳动物的化石。这些化石来自于一种类似鼩鼱的小型动物，体型大约是家鼠的一半大小。尽管这并非是那种轰动世界、让博物馆水泄不通的重大发现，但它有着另外的重要意义。

这是在化石记录中拥有与人类相似牙齿的最早的几种生物之一。这种生物的牙齿与我们一样，有着以牙尖构成的切割表面，并且它们的上下两排牙齿已经分化，形成了分工不同的切牙、尖牙以及磨牙三类。这种生物还拥有与我们相似的耳部构造，其中包含着微小的耳骨，连接鼓膜与内耳。它的颅骨结构、肩部以及四肢骨骼的结构都已呈现出哺乳动物的明显特征。尽管我们还无法确定，但这种小型生物很有可能长有毛发和其他的哺乳动物特征，如乳腺。每当我们咀嚼食物、听到尖锐的声音或是转动我们的双手，我们都是在使用遗传自早期祖先的解剖学特征。这些特征可以追溯到灵长类祖先乃至其他哺乳动物那里，一直到这些生活在2亿年前的小生物身上。

岩石也将我们与过去联系在一起。地球上的裂谷，如那条将我们引向格陵兰岛并在那里发现哺乳动物化石的裂谷，它们不但在地壳中，也在我们的身体内留下了痕迹。格陵兰岛的岩石就像是一部鸿篇巨著中的一页，讲述着有关我们这个世界的故事。在那枚小小的牙齿之前，地球已经经历数十亿年的漫长岁月；而在它之后，历史又已经翻过了2亿

年。在漫长的地球历史中，海洋扩张然后闭合，高山隆起然后侵蚀；随着地球在太阳系中运行，小行星也会时不时撞击地球。地壳中的岩层记载着一次又一次的气候、大气乃至地壳本身所经历的变化。变化是这个世界的本质：身体逐渐成长，然后死去；物种诞生，然后消亡；无论是我们所生活的这颗行星还是其他天体，都在经历着缓慢的变化或是灾难性的剧变。

岩石和我们的身体都像是时间的胶囊，其中记录着塑造它们的重大历史。构成我们身体的分子源自太阳系起源时期的恒星事件。地球大气的改变塑造了我们的细胞以及整个新陈代谢机制。造山运动的节奏、行星轨道的变化，以及地球内部的改变都会影响我们的身体、思想，以及我们认识这个世界的方式。

正如人体一样，这本书也是按照时间线来组织的。我们将从137亿年前的宇宙大爆炸开始讲起。随后，我们将循着我们身处的这个宇宙小角落的历史，讲述太阳系、月球以及地球本身的形成，对我们每一个人的身体器官、细胞以及基因所产生的影响。

---

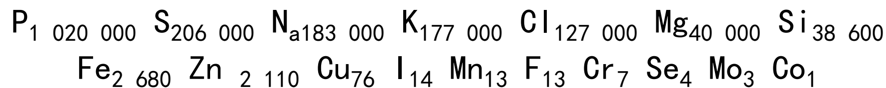
1. 英尺，英制长度单位，1英尺约等于0.3048米。
2. 法里希·詹金斯（Farish A. Jenkins Jr），美国哈佛大学教授，世界著名无脊椎古生物专家，以将野外考察与实验室工作相结合而著称。
3. 詹姆森地、斯科斯比地以及魏格纳半岛都是格陵兰岛地名。
4. 理察德·斯旺-鲁尔（Richard Swann Lull，1867~1957），美国著名古生物学家，供职于耶鲁大学。
5. 曼彻斯特（Manchester），此处指美国康涅狄格州的一座小城。
6. 褐石建筑（brownstone），褐石是一种产自三叠纪或侏罗纪的砂岩，在美国曾经一度成为非常流行的建筑材料。纽约的曼哈顿地区就有很多采用这种石材建造的房屋。
7. 维多利亚湖以及马拉维湖，均为位于东非大裂谷中的湖泊。其中维多利亚湖是非洲面积最大的湖泊。
8. 相比爬行动物，哺乳动物的牙齿在爬行动物单锥体牙的近远中面各长出一个小尖，称为三尖牙，这一理论被称为“三尖理论”。

第二章

远古大爆炸



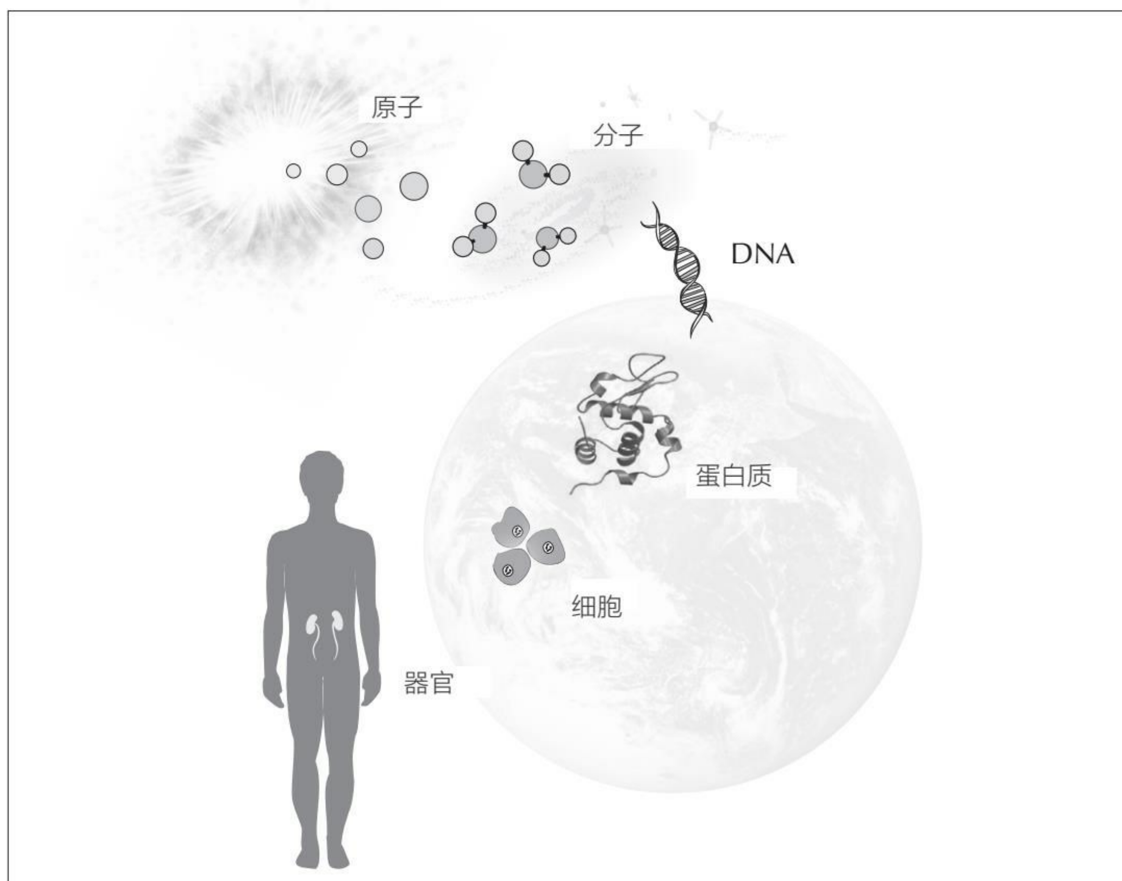
$H_{375\ 000\ 000}\ O_{132\ 000\ 000}\ C_{85\ 700\ 000}\ N_{6\ 430\ 000}\ Ca_{1\ 500\ 000}$



这是组成人体的化学元素方程式。从化学的角度来看，我们是特定种类原子的集合体。我们的身体基本上是由氢原子组成的：人体内的每1个钴原子都有将近4亿个氢原子与之对应。按重量计算，我们体内氧和碳的含量异常的高，这在整个宇宙中都是独一无二的。

但在这个方程式中，有一种元素的缺席具有重要的意义——氦。作为宇宙中丰度第二高的元素，氦的原子结构使其难以与其他原子发生电子交换，因此也就无法参与那些使生命之所以成为生命的化学反应——新陈代谢、繁殖以及生长。而另一方面，宇宙中氧和碳的丰度要比氦低20倍以上，但这些原子非常活泼，能够很容易地与其他元素的原子发生反应，形成各种化学键，而这对于生命物质而言至关重要。对组成我们身体的原子来说，反应性意味着一切，惰性元素的原子没有立足之地。

不同原子之间的比例只是决定我们身体结构的诸多因素中的一个。我们身体的组织体系就像是俄罗斯套娃一样：微观粒子构成原子，原子构成分子，而不同的分子之间相互作用、结合，组成了我们身体的细胞、组织和器官。这其中的每一个层级都具有组成它的各部分之和所不具备的更高级的功能：你能够了解构成肝脏的每一个原子的全部细节，但却无法从中得知肝脏的运作方式。这种层级结构——小的组件构成更大的实体，并具有全新的功能——是我们这个世界的基本组织方式，也从根本上揭示了我们与宇宙、太阳系以及行星之间的最深层联系。



2-1 所有物质的俄罗斯套娃结构：微观粒子构成原子，原子构成分子，分子进一步组合形成更大的实体。

现如今，随便拿起一本生物学期刊，你很有可能会看到树形关联图(注)。每一种生物，从人到纯种动物，再到赫里福德牛(注)，它们都有血统——也就是它的家族遗传树。这些树形图表达了不同生物体之间的亲疏关系：相比第二代表兄妹，第一代表兄妹之间的血缘关系当然更近。了解这类血统关系，是理解一系列重要问题的基础——不同生物之间的关联是怎样的？物种是如何诞生的？为何某个特定个体比它的同伴更容易患病？这也是在医院做诊疗时医生会询问你的家族史的原因。

现代生物学的一项重要认识便是，我们的家族史可以一直向上追溯，并延伸到所有其他的生物那里。要想揭示这种联系，我们必须非常精确地在不同物种之间进行对比。通过考察生物体具有的一些特征，我

们可以找出某些规律：相比那些关系较远的生物体，亲缘关系较近的生物体之间会具有更多相似特征。相比苍蝇，牛和人在器官和基因上具有更多的相似之处：毛发、温血和乳腺是所有哺乳类动物共同具有的特征，而昆虫则不具备这些特征。除非有人发现了长着毛发和乳房的苍蝇，否则我们只能继续认为，苍蝇是和牛或人关系较远的一种生物。如果将鱼类放进来进行比较，我们会发现，相比苍蝇，鱼类与牛或人的亲缘关系较近。原因是，鱼类、牛和人类三者拥有一些共同的特征：鱼和人类一样拥有脊椎、头颅骨和附属肢体，而这些都是苍蝇不具备的。循着这种思路，我们可以不断地将新的物种加入比较，最终建立起人类、鱼类、苍蝇同其他生活在这颗星球上的数百万种生物体之间的树形关联图。

但为何要局限于生命体呢？

太阳燃烧氢，其他一些恒星燃烧氧和碳。组成我们的手、脚和大脑的基本原子同时也是恒星的燃料。事实上，并非只有我们身体中的原子可以与宇宙联系起来，构成我们身体的分子同样在宇宙中占有一席之位。构成蛋白质以及其他身体大分子的“建筑材料”——氨基酸和硝酸盐——会以陨石的形式落在地球上，它们也存在于火星或木星卫星的表面岩层中。如果构成我们的化学物质也存在于恒星、陨石和其他天体上，那么探寻我们与宇宙之间最深层联系的线索，必定就隐藏在我们头顶的星空之中。

寻找天空的规律——星系的形状、行星表面的图案或是区分一对双星——这些都绝非易事。我们的眼睛需要一段时间才能适应黑暗，而知觉也是一样。我们必须训练自己的眼睛才能感知到夜空中微弱的模式。当我们透过望远镜或双筒镜去辨认模糊的星群时，我们的想象和预期往往会造成无中生有的幻觉。要排除这些干扰，真正从夜空中分辨出若隐若现的天体，需要学会借助周边视觉——眼睛中对光线最为敏感的区域——来采集暗弱的光线并区分模糊的星群。当我们学会了观察天空，头

顶的那个世界中所出现的色彩、深度和形状，就会像是在沙尘滚滚的沙漠中突然浮现在我们脚边的骨骼化石那样，呈现在眼前。

区分天体仅仅是我们学习观察天空的第一步。就像一幅装点了几代人房间的画，今天我们所看到的星空，基本上也与我们的父母、祖父母甚至我们的猿人祖先所看到的完全相同。随着时间的推移，人类世代已不仅仅只是观察天空，还对自身与头顶星空之间的联系发展出了新的认识。

在20世纪初，得益于“哈佛计算机”的突破性发现，我们与星空之间的关系被彻底改写了。当时美国哈佛大学天文台的台长爱德华·查尔斯-皮克林[注]，遇到了一个需要大量的计算和分析的问题。哈佛大学天文台当时拍摄了大量恒星与星云的照片，其数量着实惊人，以至于仅仅对这些图片进行管理和测算也成了一项艰巨的任务。当然在那个年代可没有我们现在使用的电子计算机，因此所有的计算都必须由人工完成。皮克林这个人是出了名的坏脾气，为人尖刻。有一次他对他的属下们大发雷霆，一怒之下竟说自己花一半的钱请一个女佣来都能干好这活儿。然后，他被自己的新点子吸引了，最后真的把自家的女佣威廉米娜·弗莱明（Williamina Fleming）带到了天文台工作。

威廉米娜·弗莱明当时21岁，有一个儿子。她的丈夫抛弃了她，留下这位身无分文又无一技之长的年轻妻子。皮克林起初是雇佣她打扫房间，在大话说出口之后，他便将她带到了天文台，负责那些天文图像的管理工作。由于天文台收到了一笔数额不菲的捐助，因此皮克林便雇佣了更多的妇女加入这个小组。但皮克林万万没有想到的是，正是从这个小组当中，走出了在当时甚至是在历史上最伟大的几位天文学家。这些妇女后来被人们誉为“哈佛计算机”（Harvard computers）：她们面对原始的天文数据和夜空的图像，并解读它们的含义。



2-2 爱德华·查尔斯-皮克林（后排）和“哈佛计算机”在一起。威廉米娜·弗莱明（前排左三），亨莉爱塔·勒维特就在皮克林的右侧。

亨莉爱塔·勒维特（Henriea Leavi）是一位公理教会牧师的女儿，于1895年来到了天文台。起初她是义务帮忙，再后来可以拿到每小时30美分的薪水。她在学校读书时，对天文学产生了浓厚的兴趣，正是这种对天文学的激情，让她挨过了整理一张张恒星与星云照片时度过的漫长枯燥的时光。

勒维特知道，夜空中恒星的颜色和亮度都是不同的。有些恒星看起来又小又暗，而另一些恒星则又大又亮。当然，我们没有办法知道这些恒星的真实亮度是多少，因为一颗看上去又小又暗的恒星有可能是一颗又大又亮的恒星，只是距离比较远，也有可能就是一颗又小又暗的恒

星，距离比较近。

很快，勒维特对一类特殊的恒星产生了浓厚的兴趣。这种恒星会在短则数天、长则数月的时间里规则地发生亮度上的明暗变化。她找到了1700颗这样的恒星，并测量了所有她能测量的性质：它们的亮度、在天空中的位置，还有亮度变化的周期。在对自己收集的数据进行分析时，勒维特发现了一条重要的规律：这些恒星亮度变化周期的长短与它们的真实亮度之间，存在线性的对应关系[注]。

勒维特的发现听上去似乎非常难以理解，但它的确具有深远的意义。我们知道，光速在真空中是一个常数，如果已知一颗恒星的真实亮度和它看上去的亮度，我们就能计算出它和地球之间的距离。基于这项发现，亨莉爱塔·勒维特给了我们一把量天尺，我们可以用它来测量天空的距离。

我们必须想象那个时代的天文学，以便理解勒维特的发现所具有的颠覆性力量。从伽利略到皮克林，人们在观测宇宙时，越来越清晰地看到那些行星、星云和模糊的光点。但其中最关键的问题仍旧无解：宇宙究竟有多大？是否我们的银河系便是宇宙的全部？

就在1912年勒维特提出她的发现之后不久，其他天文学家们便开始对这种方法进行修正，并将其应用于实际的天文观测。一名荷兰天文学家利用勒维特的量天尺测量了几颗恒星的距离，得到的结果是一个巨大的数字：我们的银河系似乎大得超出想象。接着，埃德温·哈勃（Edwin Hubble）登场了。借助勒维特的方法，并使用当时世界上最大的望远镜，他几乎在一夜之间改变了我们对宇宙的认识。

哈勃是罗兹学者[注]，原本学习法律，但后来改学了天文。1918年，他使用了设在威尔逊山天文台巨大的新型望远镜来搜寻因勒维特的发现而变得有名的特殊恒星。他所找到的这颗恒星非常特殊：它并非孤立存在，而是位于一个云团之中，即“仙女座大星云”。当哈勃根据勒维特的

方法去测算这颗恒星的距离时，他发现了一个惊人的事实：这颗恒星——当然也包括它所在整个的“云团”——我们的距离，远远超过了任何已知的天体。伟大的变革到来了——哈勃意识到，这个天体与我们之间的距离，已经远远超过了银河系中最遥远的恒星。这个“云团”并非真的气体云团，而是距离我们极其遥远的另一个完全独立的星系。由于这个发现，仙女座星云变成了仙女座星系，而我们头顶的夜空也突然变得如此巨大而古老，几乎难以名状。

借助当时世界上最强大的望远镜，哈勃几乎观测了所有能够包括勒维特的特殊恒星的天体。事实逐渐显露：仙女座星系和银河系只是冰山一角，整个宇宙充斥着大量的其他星系，每个星系都由数十亿计的恒星组成。一个多世纪以来的观测者们所看到的那些模糊的气体云团，其中很多实际上是远在银河系之外的星团。在那个年代，人们还在为地球的实际年龄争论不休，当时认为地球的年龄大约在1000万~1亿年左右。而宇宙的古老与宏大告诉我们，地球只不过是漂浮在浩瀚宇宙中无数星系间的一颗微不足道的尘埃。这些新的发现让人们开始用一种全新的眼光审视头顶的天空。

哈勃还运用了另外一种观测天体的方法，这种方法涉及光的一项基本属性。从光源发出的一束光线，当其向我们接近时，看上去更“蓝”；而当其远离时，则显得更“红”。之所以会发生这种颜色上的变化，是因为光与波具有很多共同特点：从源头发出的一道波，当其向你接近时，波长会被压缩；而当其远离你时，波长会被拉伸。在色彩的世界中，较短的波长对应光谱上更“蓝”的颜色，而较长的波长则对应更“红”的颜色。如果说勒维特的发现为我们提供了一把测量宇宙的量天尺，那么这种对光谱变化的观测方法，则为我们提供了一台可以用来测量天体运行速度的雷达测速仪。

借助这一工具，哈勃发现了一项惊人的事实：几乎所有的天体都在显示红移。这只有一个解释：宇宙中的天体正在远离我们而去，而宇宙

本身正在膨胀。这种膨胀并非随机的分散，而是整个宇宙由一个共同的中心向四周膨胀。这意味着，如果将时间倒回，在过去的某个遥远时刻，整个宇宙中的物质都曾汇聚在一个点上。

并不是所有人都喜欢这个新想法，事实上，很多专家都讨厌这个理论。有关宇宙起源的新理论如雨后春笋般涌现，其中一个反对理论的支持者出于嘲讽，将哈勃的理论称作“大爆炸”[注]。然而，无论是哈勃的理论还是其他理论都有一项重要的缺陷，那就是：它们都缺乏直接、确凿的证据。

在这一问题上的重要突破，来自于为满足人们的交流需求而进行的一项无心之作。20世纪50年代末，无线技术领域的创新以及不断扩大的国际商业合作与交流，使得人们产生了对无线电、电视和其他跨洋信号通讯设备的需求。为此，美国宇航局（NASA）设计了一颗特殊的卫星，代号“回声1号”（Echo-1）。这颗卫星的外形就像一个闪闪发光的金属气球，它的作用是在轨道上反射信号，将由地球的一侧发射的信号反射到地球的另一侧，以便实现长途信号通讯。但这个系统的缺陷在于，经过它反射的信号抵达地面时强度太弱，已经无法解读。

当时美国电话电报公司（AT&T）的贝尔实验室，是开展开创性科学研究工作的乌托邦。阿诺·彭齐亚斯（Arno Penzias）以及罗伯特·威尔逊（Robert Wilson）正在这里尝试开发一种雷达天线，用于接收由NASA“回声1号”卫星反射回来的极弱的微波信号。为完成这一任务，他们投入了大量的时间、金钱和专业技能来设计这种特殊的雷达天线。然而在1962年，NASA发射了“通讯卫星1号”（Telstar），这颗卫星不再采用被动的反射方式，而是转而采用中继转发方式，对接收到的信号进行增强并转发。这对于彭齐亚斯和威尔逊来说是个坏消息，因为他们开发的新型天线现在对于NASA来说已经毫无用处了。

但这同时也是个好消息：彭齐亚斯和威尔逊解放了，他们现在可以

自由地把这种天线用来达成他们真正的目标——观测从宇宙深处抵达地球的无线电波。但他们的这台新天线看来并不适应它的新角色。为了达到NASA的要求，这台天线的灵敏度极高，这让操作它成了一场噩梦。它能检测到任何极其微弱的信号和噪音，几乎就像是电视机屏幕上的雪花点。

在今天看来，当年彭齐亚斯和威尔逊试图找到并排除这些信号干扰的努力，几乎如同大海捞针。他们先是试着过滤掉了无线电信号，但不幸的是干扰还在；随后他们又尝试将系统冷却到零下270摄氏度——在这样的低温下物质分子的运动几乎停止，然而干扰信号依旧存在。他们钻进探测器内部检查，发现那里沾上了一些鸟粪，将其擦干净之后，干扰信号有所减弱，但仍然存在。这种背景干扰不分昼夜地持续存在着，强度比他们预计的还要高出100倍。

彭齐亚斯和威尔逊所不知道的是，在美国普林斯顿大学，另一组科学家正在使用计算机模型进行一项测算，而他们得到的结果显示：如果大爆炸真的发生过，那么它所产生的巨大能量应当仍有一部分留存在今天的宇宙之中，就像爆炸之后弥漫的烟尘。考虑到大约137亿年的冷却和膨胀时间，我们应当可以在任何方向上检测到这种背景辐射，并且计算出其所在的特定波段。这是一项相当精确的预测，没有给模棱两可留下任何空间。一位友人向彭齐亚斯和威尔逊出示了普林斯顿研究组的这些论文，后者立即意识到了令他们百思不得其解的“神秘干扰”的真正含义——这种背景干扰并非噪音，而是一个信号，并且，它正是普林斯顿大学研究组的理论所预言的那种信号。彭齐亚斯和威尔逊发现了宇宙大爆炸的余晖。由于这项发现，他们两人被授予了1978年度的诺贝尔奖。

作为一名化石猎人，我的工作是发掘过去的痕迹。但从某种角度来说，每一位天文学家都是古生物学家。正如卡尔·萨根[注]的那句名言，我们所见恒星的星光，都形成于发生在遥远过去的化学反应。宇宙的浩淼无垠意味着，进入我们双眼的星光并非遗迹——它是真正的时间旅行

者，它来自人类诞生之前，甚至是地球诞生之前的古老年代。每一晚，我们都能目睹这些时间旅行者的到来，而我们回溯自身过去的秘诀就在于：我们要学着用崭新的视角来审视这些来自恒星的光与辐射。

数千年来，人类一直将自己视为居于宇宙中心的星球上的最高级生命。但科学的发展改变了这种认识。勒维特、哈勃和其他科学家帮助我们认识到：我们处于一个巨大星系的边缘——这个星系只是宇宙无数星系中的一个，而我们所生活的世界也只不过是无数世界中的一个。达尔文和其他生物学家也让我们进一步认清了自己的位置：我们不过是一棵包含着地球上所有生命形式的巨大的物种进化树上的一个小小分支。这每一项发现都让我们更加远离万物的中心，移向某个不起眼的角落，但同时也带给了我们对于人类与其他物种，乃至与整个宇宙之间关系的全新体验。宇宙中所有的星系，如同地球上所有的生命，包括每一个原子、每一个分子以及地球上的每一个身体——所有这一切都深深地互相关联。而所有这些关联，都源于137亿年前的那一个点。

恒星的诞生

作为一个物种，我们的历史可以追溯到海洋、河流和萨瓦纳平原[注]，我们的感觉器官已经适应了陆地与海洋中的化学和物理环境——作为捕食者、被捕食者或是伴侣，我们拥有听觉和视觉。但我们的进化历史没有赋予我们感知额外维度——比如以数十亿年计的漫长时间，或是以光年计的无穷距离——的能力。为了具备这种洞察力，我们赋予自身在地球上得心应手的生存工具以全新的任务。人类的逻辑、创造和发明，将我们的意识与思想投射到更大范畴的时空当中。

137亿年前存在的那个点所具备的物理性质远远地超出了我们的想象能力，更是超出了我们的概念化工具。引力、电磁力——所有现在在我们身边的力的形式，那时都还没有独立存在。我们所说的物质也不存

在。这单独的一个点上包含着所有在后来构成宇宙的东西，其中隐藏着巨大的能量。在这样一个宇宙中，描述微小粒子的量子力学以及描述宏观物体的广义相对论一起，组成了某种单一的、目前还未知的统一理论。要揭开这一理论谜团，我们将需要下一个爱因斯坦。

经过大约0.000000000000000000000000000000000000000001秒（小数点后面41个0），宇宙的温度到达了约1000000000000000000000000000000000000000000000000华氏度（1后面48个0）㊟，状态开始变得清晰。宇宙从这时起进入了非常迅速的膨胀阶段。宇宙大爆炸不同于通常意义上的爆炸，后者伴随着大量物质被从中心向四周抛射，而宇宙大爆炸则是空间本身的膨胀。随着膨胀的进行，时间推移，宇宙逐渐冷却下来。而随着宇宙的膨胀与冷却，塑造我们今日宇宙的力与粒子开始出现了。

爱因斯坦的方程$E = mc^2$对于描述早期宇宙中发生的事件至关重要。这一方程揭示了能量（E）与质量（m）之间的关系。由于光速（c）的数值很大，可以看出需要巨大的能量才能得到很小的质量。反过来也是一样：只需要很小的质量便可以转化出巨大的能量。

在大爆炸之后的一万亿分之一秒，宇宙的大小与一个棒球相当。这个早期宇宙中的能量便是构成后来大量物质的原始材料。随着空间的膨胀，能量便按照爱因斯坦的质能方程转化为质量，但此时产生的粒子寿命都非常短暂。在这样一个狭小而高温的宇宙中，任何东西都是不稳定的：粒子不断地形成、碰撞和毁灭，这样的过程重复数万亿次。

这一阶段产生的粒子分为两种类型——物质与反物质。物质与反物质是对立的，两者相遇则一同湮灭。随着能量不断转化为质量，物质与反物质粒子一诞生便开始互相碰撞。大部分的碰撞都导致了双方粒子的彻底湮灭。但如果这就是事情的全部，那么我们——人类、地球甚至整个银河系——都不会存在。粒子几乎一形成就会被毁灭，但是，物质相

对于反物质在数量上的微小优势——物质粒子比反物质粒子大约多出了1000亿分之一——足以让物质在宇宙中胜出。正是这一极微小的不平衡造就了我们的存在。正如物理学家劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss）[注]所言，我们完完全全是那多出的1000亿分之一的物质的后代，就如同我们是我们祖父母的后代一样。

大爆炸之后1秒，宇宙中开始出现一些我们能够识别的结构，尽管它们仍然转瞬即逝。这是在今天一些最大型的粒子对撞机中会短暂出现的亚原子粒子——轻子[注]、玻色子[注]、夸克[注]以及其他类似的粒子。

在宇宙诞生之后大约3分钟，世界上最深奥的模式之一开始形成。这一模式被总结在了一张表中，让年轻的理工科学生们又爱又恨——这就是元素周期表。元素周期表按照原子核质量的大小，将所有已知的元素按顺序排列。但在此时，宇宙中的这张元素周期表一定会让学生们大舒一口气，因为这张表上只有三种元素：氢、氦和锂。

直到今天，氢和氦仍然是宇宙中丰度最高的元素：氢占宇宙中所有物质的90%，氦则占大约5%。而所有其他元素，包括组成我们、维系生命以及形成恒星的元素，所占的比例几乎都可以忽略不计。

宇宙中的一切物质都是由这些构建材料形成的。在大爆炸之后30万年，宇宙已经膨胀和冷却到了一定程度，从而允许真正的原子存在。原子核已经能够将电子束缚到外部轨道上。电子与原子核之间的这种结合，为今天我们体内每时每刻都在发生的各种化学反应打下了基础。

我们每时每刻都生活在一个电子交易市场之中，这些交易在转瞬之间（数百万分之一秒）就能完成。我之所以能够撰写这本书，你之所以能够阅读这本书，都得益于在这些交易过程中释放出来的能量。我们体内的分子每天都在进行着这样的电子交换，这是它们日常交互活动的一部分。有些电子迁移过程会释放出能量，比如那些有氧参与的反应；而另外一些反应则会让原子与分子，或分子与分子相互结合。这些电子交

换定义了这颗行星的大气层、它的气候以及地球上所有生物体的新陈代谢机制这三者之间的反应。当你吃下一个苹果，苹果中的电子便会经由你身体的新陈代谢机制为你身体的细胞提供能量。而苹果中的这些电子本身则来源于土壤中的矿物质以及天上降下的雨水。继续追根溯源，土壤和雨水中的电子已经在这个世界上循环历经了亘古漫长的岁月。在它们形成时，地球、太阳系甚至恒星都还没有诞生。

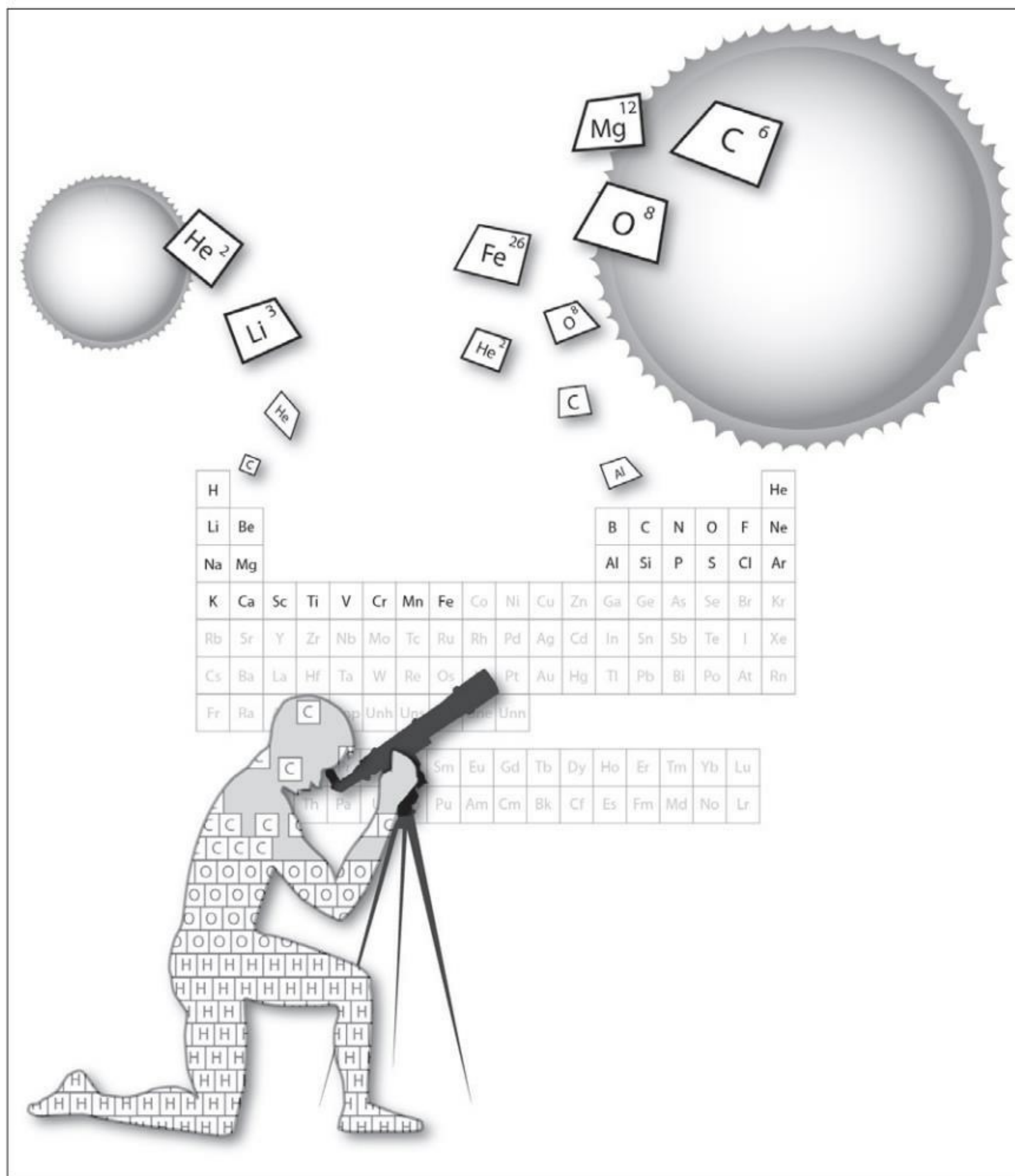
随着膨胀和冷却过程的继续，舞台已经搭建完毕。粒子开始聚集形成原子核，原子核与电子结合形成原子。不同的原子之间现在可以开始相互发生反应，这是构成更大单元的关键步骤。一个重要的参与者即将出现：引力。

大约在大爆炸之后的100万年，宇宙已经膨胀和冷却到可以聚集形成足够大规模的物质，从而让引力开始对事物产生有意义的影响。经由力的平衡，宇宙中开始出现秩序和模式：引力聚集物质，而其他力量，如热量以及更加神秘的暗能量，则对抗引力的作用。这些关系决定了我们在宇宙中所见的模式：从气态星云的形态，再到恒星、星系乃至行星的形态。从更根本的层面上说，它解释了化学本身是如何从仅有两个元素扩大为我们今日所熟悉的超过100个元素的完整周期表的。

那么今天构成我们的行星和我们身体的原子世界，究竟是如何从136.9亿年前仅有的那两个种类演变而来的呢？

周期表的扩展——从氢和氦这类较轻的元素向更重的元素如氧和碳发展——是经由合成更大的原子核而实现的。在合适的条件下，两个较小的原子核会结合并形成一个较大的原子核。这种结合取决于这些原子核自身的物理性质。在大多数情况下，1 + 1并不等于2：原子核结合所形成的新原子核并非它们相互之间的简单相加。一般情况下，新形成的原子核的质量要小于形成它的各原子核质量之和，在此过程中发生了质量的损失。但我们从爱因斯坦的方程E = mc2中知道，质量并未真的消失，而是转变成了能量。因此，这种核聚变反应能够释放出巨大的能

量。



2-3 恒星内部的核聚变反应形成了我们身体内绝大部分的重元素。

人类一直试图掌握核聚变反应中蕴藏的巨大能量，但在正常条件下，原子核并不会自发地发生聚变反应。启动核聚变反应本身也需要巨

大的能量。根据这一原理，氢弹之父爱德华·泰勒[注]将一颗原子弹与另外一台用于原子核聚变的装置结合在一起，造出了第一台核聚变装置。原子弹通过核裂变反应释放能量，而它的启动并不需要太多的能量。泰勒和他的同事斯塔尼斯拉夫·乌拉姆[注]共同设计了一套系统，代号为“常春藤麦克”，并在太平洋一座名为埃内韦塔克[注]的小岛上建立了这套大小与一座小型工厂相当的装置。当它在1952年11月被引爆时，原子弹爆炸释放的巨大能量迫使聚变装置中的氢原子发生核聚变反应，随之引发了猛烈的爆炸。泰勒在美国加州大学伯克利分校地质系大楼地下室的一台地震仪上目睹了这一事件。爆炸将整个埃内韦塔克岛夷为平地，在其中心位置形成了一个直径一英里的大坑，小岛上的珊瑚礁碎屑被抛到了15英里（24公里）以外。在对这场剧烈爆炸残留物的分析中，科学家们发现，巨大的爆炸能量导致了邻近一些较大的原子核也发生了聚变反应，从而形成了两种此前从未在地球上发现过的新元素。他们将这两种新元素分别以爱因斯坦和费米[注]的名字命名为“锿”和“镄”，因为正是这两位物理学家的突破性成就揭示了隐藏在原子核中的巨大力量。

核聚变也是让恒星得以燃烧的原子能“引擎”。但泰勒-乌拉姆方案与恒星之间存在着本质的差异：泰勒方案采用了一枚原子弹来激发核聚变，而恒星内部的核聚变则借助其自身的引力来实现。

我们可以在夜空中找到这种反应的线索。仔细观察夜空中的猎户座，注意其腰部附近组成猎刀的三颗暗弱的恒星。天气晴好的时候，你会在这里看到一个模糊的团块，这就是猎户座大星云。从望远镜中观察，这个星云呈现出的结构与复杂性，看上去就像是一块隐藏着一些小恒星的云团。这个星云本身是一个巨大的气体云团，并且与原始的宇宙有一些相似之处——这里也孕育着新生的恒星，大约有700颗恒星正在诞生。当然，考虑到这个星云与我们之间的遥远距离，我们所看到的实际上是它们在1000多年前的模样。

在恒星形成的过程中，大量的气体聚集，当聚集的颗粒越来越多，

气体云团内部的引力也变得越来越强大。在某个时刻，这团巨大的气体云团越过了一个临界点，引力开始变得无法遏制，所有气体物质都向着一个中心点塌缩。引力将所有的原子核聚集到一起，使它们相互融合。这种状况迫使原子核发生新的结合：原本只有一个质子的原子核合并形成拥有两个质子的更重的原子核。但这种新原子核的质量要小于合成它的两个原子核的质量之和。在此过程中损失的质量，根据爱因斯坦的质能方程$E = mc^2$，转化成为巨大的能量并释放入周围空间。

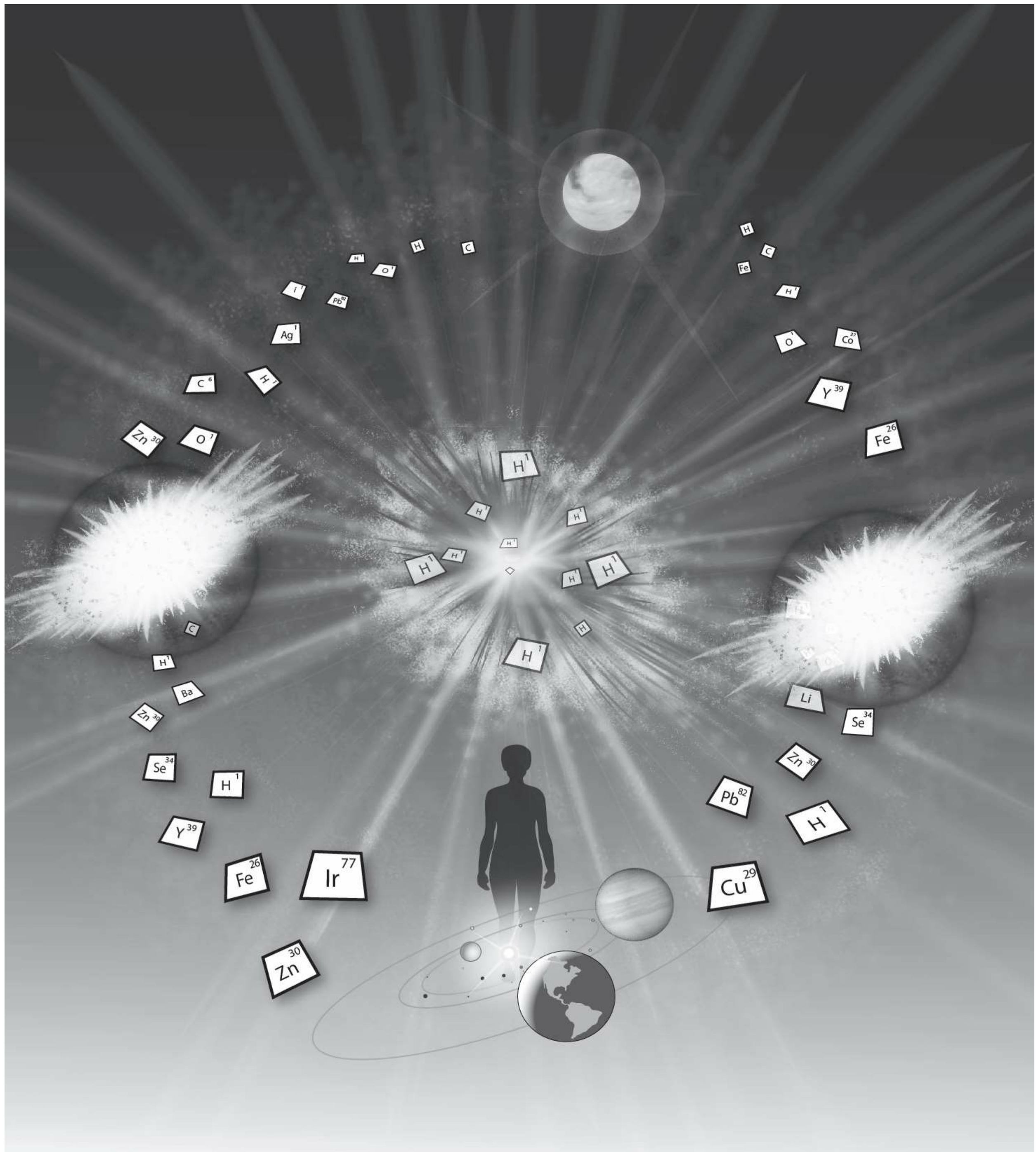
任何一颗恒星的大小和生命周期，都由其内部一场拉锯战的结果决定：引力迫使物质向中心聚集，而核聚变产生的热能则会让物质向外扩散。

恒星就像一台不断消耗燃料的引擎，当一种燃料消耗殆尽时，便转而使用另外一种燃料。一般恒星所用的最基本燃料是质量最小的原子——氢，其燃烧的产物则是氦。太阳便是这样的恒星。随着时间推移，氢逐渐耗尽，恒星会在合适的条件下开始将此前燃烧所产生的氦作为燃料，并在这一过程中产生出更重的元素。一旦氦也被耗尽，恒星便转而将更重的元素作为燃料，以此类推。在这一过程中陆续产生了氧、碳以及其他更重的元素。经由恒星内部的核聚变反应，元素周期表从此前仅拥有两个元素，充实成了拥有20多个元素的表单。

恒星可以按照这样的顺序不断燃烧更重的元素，直到它被物理和化学原理所限定的临界点阻止。这个临界点就是铁——它在元素周期表中占有特殊的地位。在周期表中位于铁元素之前的元素可以发生聚变反应并释放巨大能量，而那些位于铁元素之后的元素也同样可以发生聚变，但由于其内部的原子核结构不同，它们发生的聚变并不会释放出很多能量。事实上，促使这些元素发生核聚变的能量，要超过其核聚变反应所释放出来的能量。打个比方，假如我们将铁作为电力公司核电站的燃料，那么它的“燃烧”所产生的能量还不及我们为了使它“燃烧”而投入的能量。

这对于恒星而言是一场亏本买卖，但对于我们来说却至关重要。随着一颗恒星耗尽其所有较轻的元素，并不断将周期表中更重的元素作为燃料，其核心的铁会逐渐积累。随着越来越多的铁在恒星的内核积累，恒星的核聚变就会终止，它对外辐射的热能也开始减少。在合适的条件下，恒星的铁核还会吸收能量，几乎就像是核爆炸的逆向过程。随着大量能量被吸收，将引发严重的连锁反应，最终导致一场毁灭性的剧烈爆炸。在数秒之内，这场爆炸所释放出的能量，将超过像太阳这样的恒星在其整个生命周期内所释放能量的总和。

这种爆炸是超新星的一个类型（另外一类是由恒星之间的碰撞引发的）。超新星的运作机制与泰勒-乌拉姆方案有些许相似之处：一次猛烈爆炸中释放的能量触发新的核聚变反应。记得那些比铁还重的元素发生核聚变反应的代价吗？由于超新星爆炸时释放的能量实在巨大，它可以承担这类“昂贵”反应的代价。所有比铁更重的元素，如我们体内的钴和铯，都来自于超新星。紧随其后的是一个重要的过程——至少对我们而言是如此，那就是，超新星将死亡恒星的原子抛洒入太空中。超新星是驱动原子从一个星系系统移动到另一个星系系统的主要动力之一。



2-4 我们的循环。构成我们身体的氢原子诞生于宇宙大爆炸，其他元素则来自恒星与超新星。而最终，当组成我们的元素在未来的一次超新星爆发之中重新散落太空，它们就将开始新一轮的循环。

构成我们身体的最小部分拥有和宇宙一样宏大的历史。一切以最初的大量能量转变为物质作为开始，在大爆炸之后不久产生了氢原子，而

氢原子随后在恒星内部和超新星爆炸的过程中合并成为越来越大的原子。

天空就像是一片繁茂的森林，不断进行着物质的循环。遍布夜空的恒星不断制造着元素，偶尔会有一些恒星爆炸消亡，将它们制造的元素散播开来，成为孕育新恒星的原始材料。构成我们这颗行星的原子曾是无数个“太阳”上的居民；这些粒子穿越无垠时空，历经无数新生与死亡，每一个星系、恒星或人，都只是它短暂的拥有者。构成我们身体的粒子已经在宇宙中穿行了亿万年；当我们和我们的星球灰飞烟灭后，它们将成为构成另一个世界的一部分。

---

1. 树形关联图（tree of relatedness）：生物学上一般用于表达各物种之间关联性的树形图。
2. 赫里福德牛：英格兰赫里福德郡产的肉牛品种，因其品质优良而广受欢迎。
3. 爱德华·查尔斯-皮克林（Edward Charles Pickering, 1846~1919），美国天文学家，物理学家，首颗分光双星的发现者。
4. 勒维特所观察的特殊种类恒星即“造父变星”，是变星的一种。勒维特所揭示的这一重要关系现在被称作“周光关系”。
5. 罗兹奖学金（Rhodes Scholarship）：根据英国富翁、矿业大亨与政客罗兹（Cecil John Rhodes，1853~1902）的遗嘱而设立的奖学金，主要资助外国优秀本科毕业生前往英国牛津大学深造。
6. 大爆炸（the Big Bang）：一般认为这个名词最早是由稳态宇宙模型的支持者、英国天文学家弗雷德·霍伊尔（Fred Hoyle）在1949年的一档电台节目中提出来的。报道称他当时是想嘲讽宇宙膨胀的想法，有趣的是，这个名字反而很快成为了哈勃膨胀宇宙模型的代名词并广受欢迎。但霍伊尔本人否认这种说法，称自己当时只是想强调两种宇宙模型的根本差异。
7. 卡尔·萨根（Carl Sagan，1934~1996），美国著名天文学家、科学传播的积极促进者。参与美国大量行星探测项目并创立著名的行星学会。他著有多部脍炙人口的科学作品，如《超时空接触》、《宇宙》、《布鲁卡的脑》、《魔鬼出没的世界》，等等。萨根积极致力于将科学知识向普通公众的普及，被誉为“展演科学的艺术家”。
8. 萨瓦纳带（savanna），即热带或亚热带的稀树大草原。
9. 华氏度（Fahrenheit，℉）：与摄氏度（Centigrade，℃）一样都是温度计量单位。中国和其他很多国家都使用摄氏度，华氏度的使用常见于美国和其他一些英语国家。换算

方法为：华氏度 = 32 + 摄氏度× 1.8。

10. 劳伦斯·克劳斯（Lawrence Krauss，1954-），美国理论物理学家、宇宙学家，任职于亚利桑那州立大学，积极致力于科学传播工作。

11. 轻子（Lepton）是不直接参与强相互作用的粒子，它们的自旋为1/2。至今还没有发现轻子有任何结构，所以通常被认为自然界最基本的粒子之一。

12. 玻色子（Boson）是符合玻色-爱因斯坦统计、自旋为整数的粒子。玻色子不遵守泡利不相容原理，在低温时发生玻色-爱因斯坦凝聚。

13. 夸克（quark）是一种基本粒子，也是构成物质的基本单元。夸克互相结合，形成一种复合粒子，叫强子，强子中最稳定的是质子和中子，它们是构成原子核的单元。

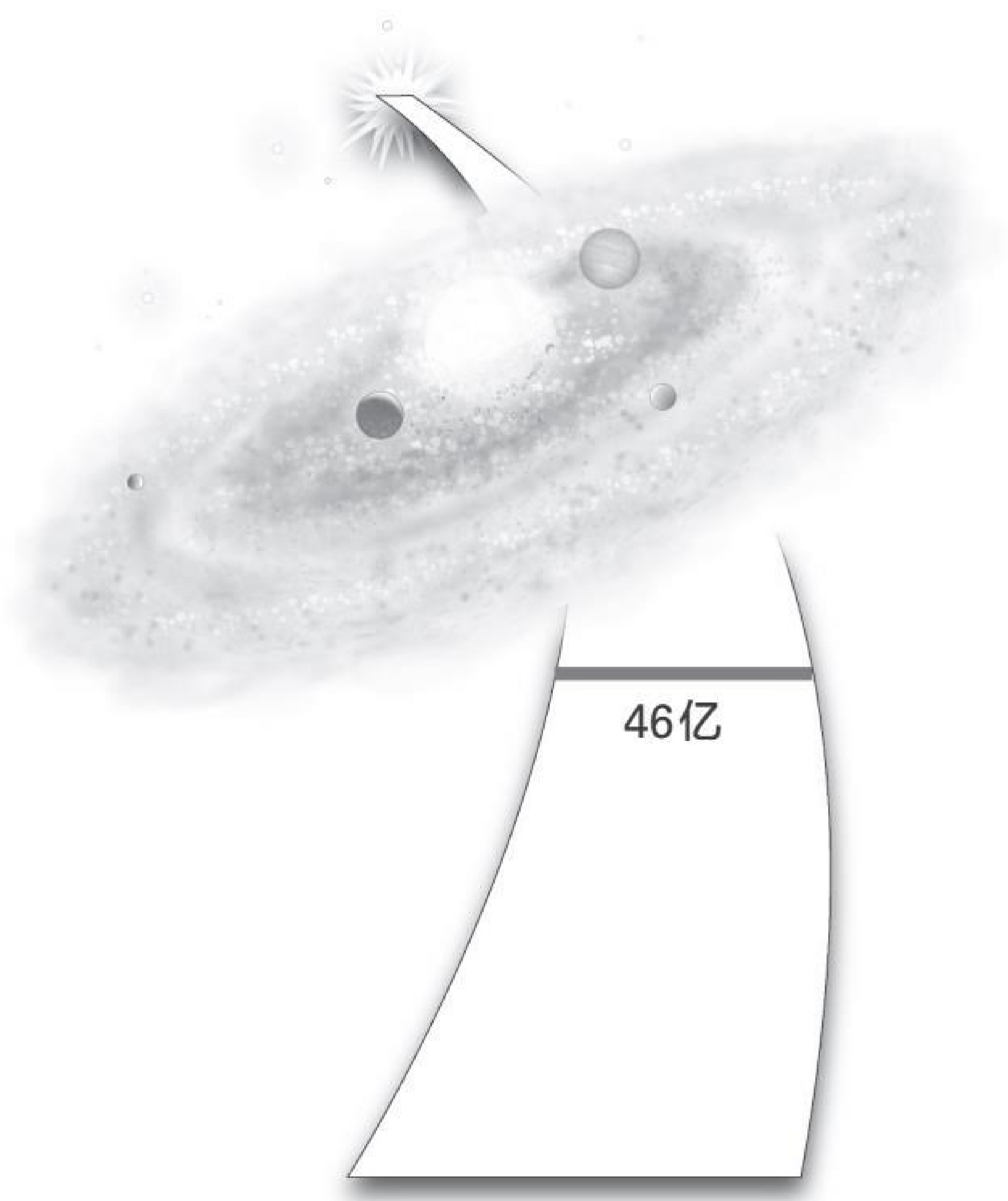
14. 爱德华·泰勒（Edward Teller，1908-2003），美籍匈牙利理论物理学家，提出氢弹的“泰勒-乌拉姆方案”，被誉为“氢弹之父”，在核物理、分子物理、光谱及表面物理等方面均做出杰出贡献。

15. 斯塔尼斯拉夫·乌拉姆（Stanislaw Ulam，1909-1984），著名美籍犹太裔波兰数学家，参与美国研制原子弹的“曼哈顿工程”，现代氢弹的基本设计原理“泰勒-乌拉姆方案”的提出人之一，发明蒙特卡洛计算法，并最先提出了核脉冲推进方案。

16. 埃内韦塔克（Enewetak）：太平洋马绍尔群岛共和国的一座岛屿。

17. 恩里科·费米（Enrico Fermi，1901-1954），著名的美籍意大利物理学家，研制了世界上第一台核反应堆；在量子论、核与粒子物理，以及统计力学方面做出巨大贡献，被誉为“中子物理学之父”。

第三章
幸运之星



大爆炸之后，无数的恒星和星系形成然后消失。对于这场宇宙盛宴，我们只是初来乍到——这里的“我们”指的是整个太阳系。

要想理解宇宙中我们所处这一隅之地的来龙去脉，需要大的想法和

大的科学。瑞典思想家伊曼纽·史威登堡[注] 一生都在思考那些重要的问题。这位大家生于1688年，在80年漫长人生的大部分时间里，他认为自己应当每天都想出一个伟大的主意。年轻时，他是一名自然哲学家，曾尝试用直觉去洞察自然界的结构。比如，他曾经设想过神经以及神经系统的存在。在将注意力转向宇宙后，史威登堡提出了一个有关太阳系起源的理论。他设想太阳是从一团由气体和尘埃组成的云团，经由自身的塌缩和凝结而产生的。随着太阳的形成，剩余的原始尘埃便形成了一个围绕着这颗年轻恒星运行的盘状体。随着时间的推移，云团的部分发生凝聚，形成了太阳系的行星。然而，这个想法沉寂了20年之久，直到1755年哲学家康德提出了他的太阳系起源观点。由康德最终发展出的这个理论，与史威登堡的理论非常相似。

拉普拉斯是人类历史上最伟大的数学家之一，被一些人称为“法国的牛顿”。他的名字经常出现在数学和统计学领域之中，比如：拉普拉斯方程、拉普拉斯算子以及拉普拉斯变换——它们分别是帮助我们理解电学、磁学以及天体运动的工具。但拉普拉斯真正的兴趣在于揭示宇宙的秩序——行星的形状以及天体的轨道。为了达成这一目标，他将史威登堡和康德的哲学观点转化成了精确的数学语言。

拉普拉斯意识到，如果空间中的尘埃云团达到合适的规模，其内部的粒子将会相互作用：引力会让它们聚集，而其他力则会试图让它们分开。这场拔河比赛意味着，一旦引力胜出，这团松散的尘埃云团将会演化成一个旋转的碎片盘。随着时间推移，盘内颗粒的引力作用将会让盘面解体，形成一个个单独的同心圆环——就像一个条纹飞盘。如果这些环中的尘埃颗粒质量足够大，那么它们将能够聚集并形成太阳系的各大行星。当然，这些宏伟的事件不会在一夜之间完成，而是需要上百万年的时间。

拉普拉斯对史威登堡和康德理论的数学改造，让它们从有趣的观点变成了可验证的预测。但问题在于，进行这种验证所需的观测技术在18

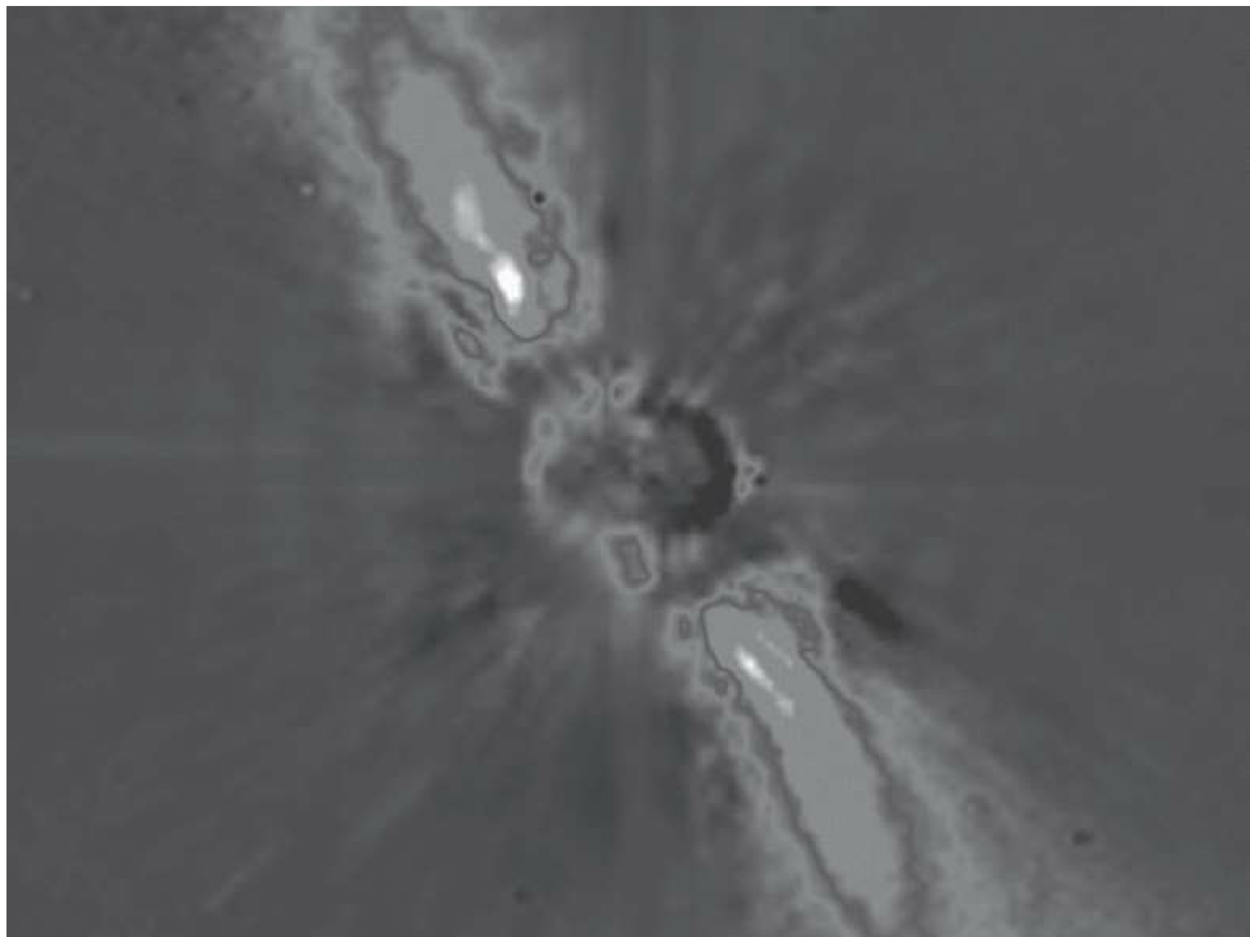
世纪末到19世纪初还不存在。因此，我们对太阳系起源的理解在这之后停滞了上百年之久。

大科学时代到来了！1983年，来自荷兰、英国和美国的科学家们开发了一颗能够在绕地球轨道上进行巡天观测的卫星。作为哈勃太空望远镜的先驱，这颗卫星专门被设计用来执行一项观测任务：对整个天空进行红外波段的观测，并评估不同恒星辐射出的热量值。恒星一生的各个阶段都会发出大量的辐射，波段涵盖了从可见光到红外、紫外乃至伽马射线。我们的眼睛只能感知到恒星产生的辐射的一小部分，因此天文学家们需要使用各种类型的望远镜来进行观测——每一种类型都对应着光谱的不同波段，以这种方式来获得完整的认识。

由于来自深空的红外信号通常非常微弱，因此探测器上任何可能的干扰信号都必须被剔除——甚至是原子本身的震动。为了让原子静止，探测仪器被用零下452℉（即零下268.8℃）的液氦冷却起来。由于卫星携带的冷却液只能维持一年，整个项目必须与时间赛跑。最终，这颗卫星完成了它的使命，并在失效之后仍在轨道上运行。之后的几年，一些科学家曾提议为这颗卫星加注液氦，让它的探测仪器重新开展工作。然而由于预算上的限制，加上更先进技术的出现，这一提议最终没有实现。

尽管这颗卫星的探测仪器寿命很短，但它取得了巨大的成功：在不到一年的时间里，它就扫描了96%的天空，还对小行星和彗星进行了搜索。1984年初，它发现有一颗恒星辐射的热量远远超出了其大小和类型所对应的范围。这一发现出人意料。我们对于各种类型的恒星应当具备多强的热辐射有着很好的认识，而这颗恒星很明显与众不同。在对图像进行细致的分析后，额外热辐射的谜团终于有了解答。这颗恒星的周围被一团巨大的尘埃云包裹，而尘埃云会蓄积热量。这个系统——后来被命名为绘架座β——成了展示太阳系形成过程的首个案例。最初凭直觉产生的理论预测，之后被转换为数学，并最终在200年后变成了现实。

我们的太阳系在形成初期很可能和绘架座β系统很像。这一历史阶段混沌无序，大大小小的岩石碎块围绕着太阳运行，并不断相互碰撞。太阳的引力场决定了那些比较重的物质会处于距离太阳较近的区域，而那些较轻的物质和气体则处于更外侧的位置。从某种程度上说，这一状态至今仍在维持：太阳系由较内侧的岩石质行星，包括水星、金星、地球和火星，加上外侧的气态行星如土星共同组成。



3-1 绘架座β，有关遥远行星形成过程的首批图像之一。

无论我们搜寻的目标是复活节彩蛋、化石骨骼还是一个新的太阳系，一项发现常常会带来另一项发现。曾被认为罕见的东西却原来到处都是——并且常常就在我们的眼皮子底下。在观测到绘架座β周围的尘埃云之后的几年间，我们发射了新的卫星，建造了更大的望远镜，并开始使用计算机来处理所得到的数据。这些技术改变了我们对宇宙的认识：太阳系远不是一个孤独的系统，而是星系中无数系统之一。整个天

空中遍布着处于不同阶段的其他世界，它们的周围也围绕着各色不同的行星。

强大的技术和伟大的想法的确改变了我们对宇宙的认识，但也不要小看运气的成分。

1969年2月8日的凌晨时分，一个巨大的火球惊醒了墨西哥奇瓦瓦州的居民。这是一位天外来客的到访：一颗巨大的陨星在大气层中发生了解体。科学家和陨石采集者们蜂拥而至。考虑到这次爆炸的规模，采集者们相信他们走了好运，但直到仔细审视了坠落的陨石之后，他们才意识到这是多么大的幸运。这些陨石灰褐色的表面上镶嵌着许多微小的白色斑点。有着这类斑点的陨石之前也曾出现过，但非常罕见。在其他一些有类似内含物的陨石上进行的实验室检测显示，这些成分具有太阳系原始岩石的化学特征。

这颗陨星的爆炸在沙漠中形成了绵延约25英里的碎片散落带。事件发生后，人们已经回收到2~3吨重的陨石碎块。即便是在44年（注：指2013年）后的今天，仍然时不时会有陨石碎块被发现。

这次陨星事件发生的时机再好不过。1969年，美国的阿波罗计划正值高潮。就在陨星坠落之前的两个月，阿波罗8号飞船刚刚绕飞月球，同时还有另外一项待定的阿波罗登月任务；全美的实验室都在为分析月球岩石的化学成分做准备。而现在，不用花纳税人一分钱，来自太空的特殊岩石自己送上门来了。不仅如此，由于这颗陨星在解体之前太过巨大，有大量的碎块落到了地面，因此便有足够多的样本分发给各个有能力对其进行分析的实验室。

科学家们对这些岩石中的原子进行了常规分析，分析的结果为地球如何在宇宙中形成这一问题带来了全新的认识。这些岩石中的一些元素与地球岩石中所包含的元素极其相似，暗示太阳系的天体具有共同的历史——正如史威登堡、康德和拉普拉斯所预言的那样。另外一些矿物可

以被用于测定年代——其内部原子的衰变就像时钟一样。当这种矿物形成时，这些原子聚集在一起形成了晶体结构。一旦形成晶体，其中的一些原子，如铀和铅，就会按照物理和化学原理发生有规律的衰变。如果你知道矿物中不同原子之间的相对丰度，以及它们相互之间的转化速率，那么就可以计算出这个矿物形成至今的时间（详情请参见本书扩展阅读与笔记部分）。根据其中铀和铅的丰度计算，在墨西哥坠落的太空岩石年龄约为46.7亿年——这正是太阳系形成的时间。

但是在这一时期，地球上发生了什么呢？要想找到直接的证据将会困难重重。在理想的情况下，我们或许能找到一块形成于地壳刚刚冷却时的岩石，并且它在那之后的数十亿年里都一直未受扰动的保存在那里。要找到这样一块岩石，最理想的地质条件是岩层一层层叠在一起，就像生日蛋糕一样。在这种情况下，埋藏最深的岩层应当就是我们要寻找的，因为这些岩层往往最为古老。你可以通过钻探的方法获得那里的岩芯，但对于一般的地质预算而言，这种做法显然太过于昂贵。更重要的是，进行这样的钻探无异于是暗夜放枪：你很难知道地底下几英里深处的情况是什么样的。一种更好的做法是去寻找那些深处的岩层出露地表的区域。但寻找这种区域的挑战在于，地球表层处于不断的变化之中。山川和大海不断诞生然后消亡。在这样一颗动态的行星上，岩层会被掩埋、加热，然后受到流水和风的侵蚀。如果地层果真如蛋糕那样层层叠加，那么请想象这块蛋糕被挤压、碾成碎块，再被高温加热，然后丢掉其中的99.99999%。此刻你所体会到的对于蛋糕的饥饿感，大概就跟那些急切想找到有关地球形成线索的地质学家们的感受差不多。

地球上有些地区给人的感觉非常原始，几乎就像是被冰封在时间之中的古代地貌。在澳大利亚西部干燥的荒漠中，有一个名叫“杰克山”（Jack Hill）的区域。这里一片荒芜，一些低地灌木丛在橘色和黄色的断崖间突兀地伸出。这里的巨石上还留有古代土著居民留下的岩画，而远古的艺术家们早在数万年前便已死去。这个地区的气候非常炎热干燥，在其附近的海湾和鲨鱼湾[注]中有许多形状怪异，类似球形门把手一

般的微生物垫(注)。这些微生物聚落是地球上最古老的活化石，一些与它们关系最近的近亲的化石可以追溯到20亿年之前。这里出露的岩石就像拼图游戏的一部分，让我们得以窥知深埋地下的古老岩石的模样。这些出露的岩石同样非常古老；在经历了漫长的热与压力的重重改造后，岩石上的印迹就像人脸上的皱纹一样，记录着它们的改变。这些来自古老基底层的岩石经历并见证了我们这颗行星绝大部分的历史。

这些残存的岩石经历了漫长的折磨，经受了几乎所有你能想象到的磨难：从高温的火山岩浆中诞生，承受着巨大压力被深埋地下，最后几经挤压和拉伸，终于出露地表。这些过程都被记载在岩层之间，而获知它们的窍门，一如既往地，就在于学会如何解读隐藏在其中的历史。

地层中的每一块岩石都是一台记录器，当你学会如何解读时，它便会成为一颗时间胶囊、一台恒温器，甚至是反映我们星球健康与否的晴雨表。而要想从岩石中获得这些知识，我们将需要从俯瞰岩层的宏观视角不断深入，直到微观的尺度。组成岩石的最微小部分——比如其中的一颗沙粒或矿物颗粒——往往可以告诉我们最宏大的故事。这其中的一种矿物颗粒是锆石，它具有独特的性质。这种矿物几乎是“无法被消灭”的；它可以忍受超高温、高压、侵蚀或是任何地质过程中可能出现的环境磨难。个头较大且较纯净的锆石晶体，甚至还常会被用来制作假冒的钻石。

对于那些对地球的形成过程感兴趣的人们来说，锆石可要比钻石珍贵多了——因为锆石的稳定性让它成为了窥视远古地球的理想窗口。含有锆石的岩石形成又消失，但其中的锆石则（几乎是）永恒存在的。对杰克山地区岩石的铀-铅定年结果显示，这些岩层的年龄约在40亿~44亿年之间。

在锆石的原子的比例上还有一点非常奇特的地方。锆石的形成需要非常微妙的平衡环境，而这些环境因素会对其原子的组成产生影响。其

晶体中包含不同形式氧原子的丰度模式，只有在岩石与水相互作用的情况下才能形成。

这种微小的矿物颗粒向我们述说了太阳系的历史：它开始于46亿年前，并且至少在41亿年前，对生命甚为关键的液态水便已经存在于地球上了。

溅起一朵水花

我们生活在一颗“蓝色星球”上，它拥有丰富的液态水，这在已知的宇宙中是非常独特的。然而，我们的身体中也有着自己的海洋。按照重量计算，一个成年人体重的57%是水。随着年岁渐长，我们身体内的含水量会逐渐减少；新生儿体重的75%是水，这个比例和马铃薯差不多。我们体内的大部分水并非以液体形式存在于血液之中，而是封存于构成我们身体的肌肉、大脑和心脏的细胞内的。食物和氧气的新陈代谢需要水，细胞的生长和相互联系也离不开水，甚至人类的繁殖也是一样：精子和卵子的活动性有赖于液体介质。我们体内的几乎每一项化学反应在某种程度上都离不开水的参与。

我们与水的联系不仅仅在于它维系了我们的生命：我们的身体本身也隐藏着关于水的历史。地球生物体前27亿年的历史完全是在水中度过的，这段历史留下的印记存在于我们身体的每一个器官之中。我们头部的基本组织是基于一系列的突起结构，这些结构最后发育成为我们的下颌骨、耳朵和喉咙以及为这些结构提供支持的肌肉、神经和血管。类似的结构在其他任何拥有头部结构的生物体身上都可以观察到，包括鱼类和鲨鱼。在这些生物体上，这些骨骼发育成了支撑和组成鱼鳃的结构。在某种意义上，我们赖以说话、咀嚼和倾听的肌肉、神经和骨骼，正对应着我们鱼类祖先的鱼鳃骨结构。与鱼鳃之间的这种深层联系也反映在化石记录中，我们可以循着鱼鳃骨的演变一直追索至我们头部深处的结

构，包括耳骨。

尽管我们历史上的大部分时间都在水中度过，但最近的3亿年却是我们告别水体的时期。我们的肾脏进化出了专门的功能，帮助我们在干燥的陆地生活中调节体内的水盐平衡。我们的繁殖过程也不再像祖先那样依赖于水体：精子和卵子会在体内结合，而胚胎的发育也与外界隔绝开，由隔膜和血管提供保护并使其与母体相连。我们已经高度适应陆地生活的手和脚，是经过演化的鱼鳍。我们对于陆地生活的适应，是经由鱼类赖以在水中生活的器官发生演化而实现的。

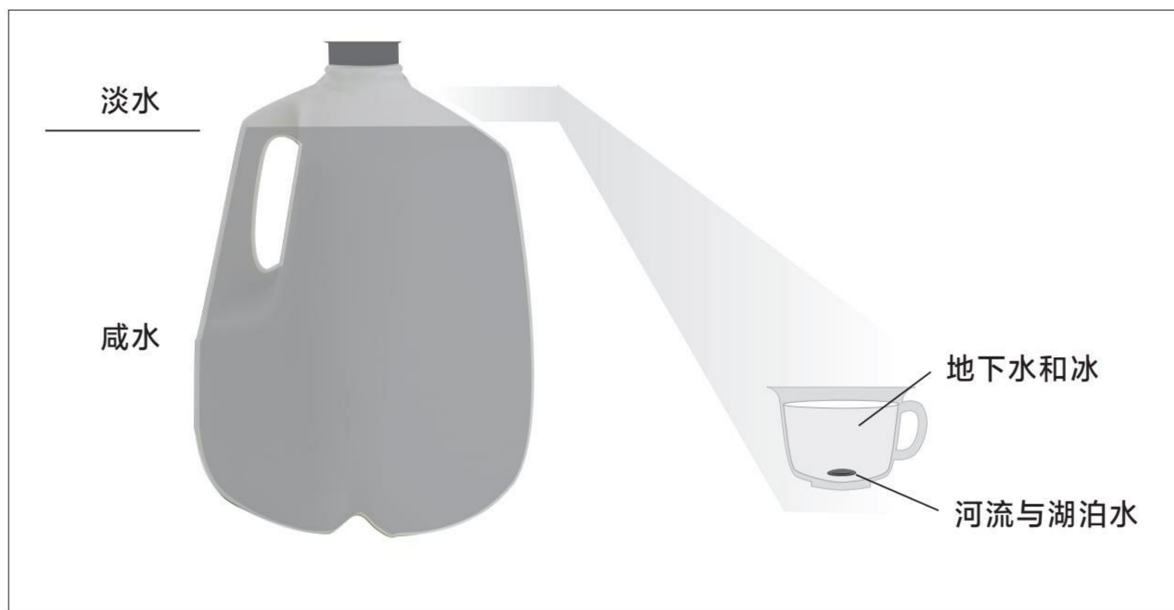
人类的肾脏，像其他哺乳动物的肾脏一样，已经高度适应了陆地生活。特殊的肾脏能够帮助更格卢鼠[注]和羚羊在干旱的荒漠地区生存，仅仅依靠食物中的水分维持生命。但即便是这种高度特异化的陆地生物器官，也同样有着水生生物的起源。所有的无颌鱼[注]——它们与我们在5亿年前拥有共同的祖先——都拥有非常原始的肾脏：一种贯穿整个身体的特殊组织。这种组织可以将液态废物从血液中分离出来，直接排入体腔，并通过尾部的一个出口排泄出去。而硬骨鱼[注]——它们与我们在4.5亿年前拥有共同的祖先——拥有更加特异化的体系：相关的组织相互连接，形成一个特异化的管路系统，专门用于向外排泄废物。而肾脏进化的最新版本，则是哺乳动物的肾脏：它不再是纵贯全身的管路，而是位于身体躯干偏下部的一个器官。

我们在母体的子宫期间，会逐一形成三种不同的肾脏。第一种肾脏是一种贯穿躯体并向体腔开放的组织，与无颌鱼的肾脏很像。第二种肾脏就像硬骨鱼的那样，是贯穿整个背部的一个管路排泄系统。第三种肾脏——在胚胎形成大约3个月时形成的成熟肾脏——会替代此前的两种肾脏。在生命的最初9个月里，我们回溯了鱼类祖先的历史。

生命与水之间的联系决非偶然：水分子自身拥有一些特殊的性质。一个水分子包括一个氧原子和两个氢原子，这让它看起来就像是米老鼠

的脑袋：两个较小的氢原子是米老鼠的耳朵，下面较大的氧原子则是脑袋。水分子作为整体是具有极性的：在氧原子端带有负电荷，在氢原子端带有正电荷。这种结构让水成了一种理想的介质，可以溶解许多种物质。盐分、蛋白质、氨基酸——如此之多的化合物都可以在水中溶解，这使得水成为了一种很好的媒介，能让生命赖以发生的许多化学反应在其中进行。我们在体内维持着一个稳定的水环境，不再依赖变幻莫测的外部水环境进行身体的新陈代谢。

水还有另外一种性质，这一点可以在厨房里观察到，那就是：它可以在相对较窄的温度和压力范围内以液态、固态或气态的形式存在。地球上如此之多的各类反应过程都有水的参与，因为它的存在形式可以是固态的水冰，也可以是空气中的水汽或是构成生命过程温床的液态水。地球上97%的水都存在于海洋之中，其余的部分则构成云、水冰以及淡水，而所有这些形式对于我们的生存都具有重要意义。



3-2 水在哪里？地球上各水体的相对含量对比

水既是我们体内化学过程的媒介，也是地球新陈代谢的基础。降雨和冰雪融水侵蚀着陆地上的岩石，并将矿物质带回海洋。这种缓慢的风化构成了对地质时期山地与高原隆升的反向平衡。空气中所含的许多分

子会对气候和大气本身产生影响，在水的作用下，它们不断地在岩石和海洋之间循环。水让地球成为了一颗可居住的星球。

隐藏在我们身体中和海洋里的水也同样述说着它们的历史。“水分子”由两个氢原子和一个氧原子构成，因此它可以被视作是宇宙大爆炸的元素产物与恒星内部核聚变的元素产物之间按照2：1的比值配成的物质。组成水分子的原子源自太空，而水分子本身则与太阳系存在着联系。地球海洋水体的化学特征，尤其是其中不同种类氢原子的混合比例[注]是非常独特的，它可以被用来与来自彗星、小行星或是其他行星体上的水冰进行对比。1997年，海尔-波普彗星[注]接近地球，探测器获取了这颗彗星上的水冰样品。分析的结果显示，这颗彗星上的水体与地球上的水体是存在差异的。这项发现让很多人大失所望，因为在20世纪90年代，人们普遍认为彗星可能是地球上水体的来源。到了2011年，彗星理论的支持者们终于迎来了好消息。飞往其他彗星（如哈特雷-2彗星）的探测器发回的数据表明，那里的水冰拥有与地球海洋水体非常相似的原子比例。然而有关水的故事还远远不止于彗星：我们对太阳系考察的越多，发现的水也就越多。利用强大的望远镜和新型探测器，我们在卫星和小行星的内部也发现了水的存在。甚至在那些看起来最不可能的地方也发现了水的踪迹：水星是最靠近太阳的大行星，其地表温度可以达到华氏800度（约合426摄氏度），这样的高温下连铅都会熔化。美国宇航局（NASA）的“信使号”探测卫星于2004年飞往水星开展考察，这颗探测器在水星极地地区的陨坑深处拍摄到一些具有独特反射特征的结构，其性质符合水冰特征。这些水冰之所以能够幸存，可能是由于陨坑对于日光的遮挡，而且由于水星上没有大气层，这些陨坑内的温度可能非常低。既然太阳系中有如此多的水，看来的确有可能地球上的水有一部分是来自于太空的。但另一种可能的情况是，还有一部分的水来自于最初形成地球本身的岩石。当被加热到极高的温度时——正如地球在大约45亿年前所经历的那样——岩石会熔化，并释放出被束缚在其分子结构中的水分子。无论是源自彗星上的水冰，还是源自最初形成地球的岩石熔

化产生的水汽，或是两者皆有，我们喝的每一杯水都拥有和太阳系一样古老的历史。并且，正如锆石告诉我们的那样，至少在40亿年以前，液态的水体便已经存在于地球上了。

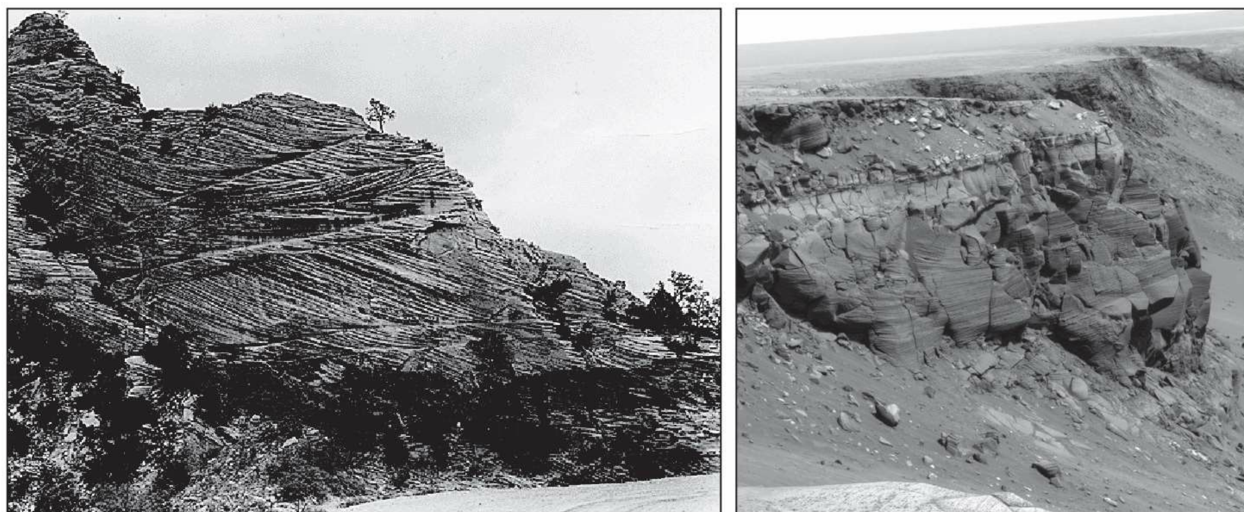
水塑造了我们的历史，让我们的生存变得可能，而我们的未来很可能也将取决于我们与水的关系。那些遥远而宏大的事件共同定义了我们作为水的存在，以及我们身体的基本结构。

邪恶兄弟

在加州连续参加了三天的会议后，我疲惫不堪，一回到酒店便一头扎进沙发里，等着机场接送巴士的到来。在对面坐着的是我的一位杰出的同事，膝上放着打开的笔记本电脑，屏幕遮住了他的半张脸。他的表情吸引了我的注意——他盯着笔记本电脑的屏幕，一会儿自顾自地笑笑，一会儿又好像难以置信的摇摇头。我对自己这样盯着别人看产生了罪恶感，于是把目光转向了自己的包，试图转移注意力。但同事显然注意到了我的窘迫，于是便友好地招呼我去看他的电脑。屏幕上显示的是一道崖壁，上面是我见过无数次的再熟悉不过的断面。这些岩层相互交错的特点非常典型，它们是在古老的沙丘区域形成的。我对这种模式烂熟于胸——我在加拿大和非洲搜寻化石期间曾见到过这种岩层，甚至还曾在这样的岩层中找到过化石。这种出露岩层就像是对古生物学家们的召唤，是他们的梦想之地。但我眼前的这些照片是在火星上拍摄的。我的这位同事是一个科学小组的成员，这个小组负责分析一辆火星车——勇气号[注]发回的图像。而我现在所看到的这些图像，是在一天前才刚刚传回地球的。

在1988年的一部电影《龙兄鼠弟》（Twins）中，阿诺·施瓦辛格[注]饰演了一个超人的角色，他想要找到自己失散已久的亲弟弟。最后他如愿找到了由演员丹尼·德维托[注]饰演的弟弟，但这位弟弟身材矮小，一

无所长，还有犯罪前科。他们两人由同一位母亲所生，但命运之神让哥哥天赋异禀，而弟弟却一无所有。从自己的亲兄弟身上，施瓦辛格饰演的这位哥哥了解到了很多关于自己的东西。同样，通过观察我们在太阳系中的邻居——金星、火星和木星，我们也可以获得很多关于地球，甚至关于我们自身组成的新的认识。施瓦辛格是我们的过去，而德维托是我们的未来。



3-3 生而分离？美国西部（左）和火星（右）的砂岩露头

数千年来，人类仰望天空，寻找关于生命、时间以及自身在宇宙中位置的答案。望远镜的发明扩大了我们的视野，让我们看到了遥远行星身旁的“月亮”和火星上的“运河”。在过去的40年间，我们发射了数百颗探测器，飞往月球、小行星、其他行星和它们的卫星，甚至是逃离了太阳引力的深空。阿波罗8号飞船首次搭载人类挣脱地球引力的羁绊，进入到另一个天体引力场的控制范围。1968年的平安夜，威廉·安德斯在月球上空拍摄了地球升起的情景(注)。大约25年之后，无人的“旅行者号”飞船开始离开太阳系，摆脱太阳引力的束缚并进入到遥远的深空(注)。工程师们命令这艘飞船调转镜头，给地球拍了一张照片(注)。在“旅行者号”拍摄的照片中，地球是一个像素大小的点，而在阿波罗8号拍摄的照片中，地球是一个球体。但对于我们来说，它是一片有着空气和水的绿洲，是我们已知的宇宙中独一无二的存在。

甚至早在阿波罗计划之前，对于金星的观测便改变了我们对自身在宇宙中位置的看法。这颗明亮的行星乍看上去就像是一个圆球，但下次如果你有机会的话，用望远镜或是双筒镜再观察一下它。你将会看到，和月亮一样，金星也存在“月相”——从“月牙”开始，变成“满月”，再重复这个过程。在1610年伽利略首次解释这个情景的时候，他差点被处决。通过这样的观测，伽利略能够向人们证明，行星——也包括我们居住的这颗，都是围绕着太阳而非地球在运行的。

金星的大小与地球相仿，但距离太阳更近。长期以来，它一直被视为太阳系中与地球最为相似的行星——人们对此深信不疑，以至于最早的行星际探测器就是发往金星的，希望能找到那里的生命。一些科学家甚至相信，如果我们在金星上着陆，将会看到一个热带的世界，就像是处于恐龙时代的地球。

打破这种看法的最初线索来自于20世纪30年代，当时的观测者们开始使用一种新型的望远镜。传统望远镜观测的只是光的强度，而设在加州威尔逊山天文台的这种新型望远镜，却能将光线分解为电磁光谱。金星的光谱观测结果所呈现的是一个与地球环境迥异的世界：金星的大气中99%的成分似乎都是二氧化碳。

1962年，金星赢得了一项殊荣：它成为了人类探测器造访的首颗行星。那一年，美国宇航局发射了“水手号”计划[注]的首个行星探测器。这项任务是一次艰巨的挑战；发射过程总是充满危险，而在1962年时则更是如此：水手1号飞船在发射过程中偏离了轨道，地面控制人员不得不启动自毁程序，以避免其对佛罗里达州海岸附近的城镇带来更大的灾难。接下来发射的水手2号飞船，只能搭载约40磅（约为18公斤）的科学探测设备。在成功发射之后，水手2号花费了3个半月的时间到达了金星。之后，它携带的这少量探测设备做出了惊人的科学发现。探测结果表明，金星表面的温度高达900华氏度（约合482摄氏度），这个温度足以让铅熔化。金星地表的压力环境是地球的90倍，相当于地球海面下半

英里（约合800米）深度的压力值。此次探测还确认了，金星大气的主要成分的确是由二氧化碳构成的。水手2号探测器的发现告诉我们，这个离我们最近的行星伙伴，与我们大小相仿的孪生兄弟，几乎就是一个地狱。

在许多方面都酷似地球的一颗行星，怎么会同地球有如此巨大的差异呢？后来的新型探测器给出了这个问题的部分答案。

20上世纪60年代，当美国宇航局忙于向月球进发的时候，苏联人正致力于开发能在金星表面着陆的探测器。把一颗探测器放置到金星表面并记录数据是一项棘手的任务。这样的探测器必须要轻，这样才能发射升空，但在这个问题上存在着艰难的取舍：金星表面巨大的压力环境意味着，探测器只有极短的时间可以开展观测，随后，它就会像足球场边球迷手中的啤酒罐子那样被整个压扁。毫无意外，早期的探测项目看上去就像是一份灾难列表：金星1号[注]发射后失去联系；金星2号在即将抵达金星时失去联系；金星3号坠毁在了金星表面；金星4号进入了金星的大气层，发回了一些信号，然后也失联了。但这种坚持不懈获得了回报。在金星1号发射14年之后，金星9号探测器成功在金星着陆，并传回了首批模糊的黑白照片。随后抵达的几颗探测器也同样成功着陆，并对金星地表的土壤样品和周围环境进行了分析。它们发现了什么呢？金星上存在打雷和闪电。金星表面存在与地球很相似的岩浆岩。金星或许是一个高温、高压、满是二氧化碳的世界，但它与地球之间存在着不可思议的相似性。

随后登场的是美国宇航局在1978年发射的“先驱者号”[注]飞船。这艘飞船是一座微型太空实验室，其携带的仪器可以进行各种探测，包括测量金星云层成分以及大气的化学组成。当探测器进入金星云层时，它检测到了硫酸的成分。探测器搭载的仪器对这些化学成分进行了分析，尤其是其中不同种类氢元素的含量。氢元素原子的比值会受到液态水存在的影响。对这些原子的测量结果，让人非常意外——虽然今天的金星极

度干燥，但在某个遥远的年代，这里曾经拥有海洋。

金星和地球曾经是一对亲兄弟，但它们的命运迄今为止却犹如天壤之别：金星失去了它的水，而我们的行星则保存了水。金星相对靠近太阳的位置决定了它无法维持液态水的存在，水的缺失可能是这两颗行星之间众多差异的背后原因。在地球上，水通过与岩石之间一长串的化学反应促进了大气中二氧化碳的去除，但这样的反应无法发生在金星上。没有水的金星就像是一个被不断泵入气体的密封容器；火山不断地释放二氧化碳，但却没有办法从大气中去除它，于是随着时间的推移，大气的压力逐渐积累。这样的结果便是，金星变得越来越热，气压也不断增加。由于水的缺失，金星上发生了失控的温室效应。

而在地球轨道的另一侧，我们的另一个邻居——火星，则诉说着一个不同的故事。在火星上，我们还未曾观测到正在喷发气体的活火山、熔岩流或是火星壳的运动，但这里有着经由水流冲刷而形成的峡谷和沟壑，地表还点缀着休眠的火山。如果火星上曾经存在过液态水，那么这里的温度区间就必然落在我们在地球上所体验到的温度范围内。这片曾经经历大规模流水冲刷的地表，现在已经满目疮痍，四处散落的或大或小的撞击坑或许已经有数十亿年的历史了。最新的探测结果表明，今天的火星仍然存在着季节性的水流现象，但离曾经在火星地表雕刻出深邃峡谷的那种水量相去甚远。火星朝气蓬勃的过去，大部分都被冰封在了时间的长河里。

金星和火星之间的许多差异，源自行星热平衡上的不同。金星之所以会失去它的水体，是由于它距离太阳较近，水体被蒸发并继而导致了不断升温的失控的连锁反应。而火星距离太阳较远，它可能无法接收到足够多的热量来维持液态水的存在。火星较小的体积也是它散热较快的原因之一。在其他条件完全等同的情况下，体积较小的物体拥有相对更大的表面积[注]：相比成年人，儿童拥有相对更大的皮肤面积。更大的表面积意味着更多的热量散失：在低温的水池中，儿童会比成年人更早开

始发抖。对行星来说也是一样的道理，因此火星冷却得更快，也逐渐停止了地质活动。

在行星的世界里，处于合适的位置、拥有合适的大小、由合适的物质组成并且出现在合适的时间，这些条件意味着一切。我们生活的这颗行星适合居住，是因为它恰好形成于距离太阳合适的位置上，与它的邻居之间处于引力平衡状态，并且拥有适当的质量来支持一个存在液态水、地壳循环和大气层的世界。我们有什么理由不对这样的幸运与眷顾心怀感恩呢？

木星的统治

在罗马神话中，朱庇特[注]是掌管誓言与律法的神，因此由他来规定维系公正的社会平衡关系。而在物理学与生物学的世界中，木星也扮演着相似的角色。

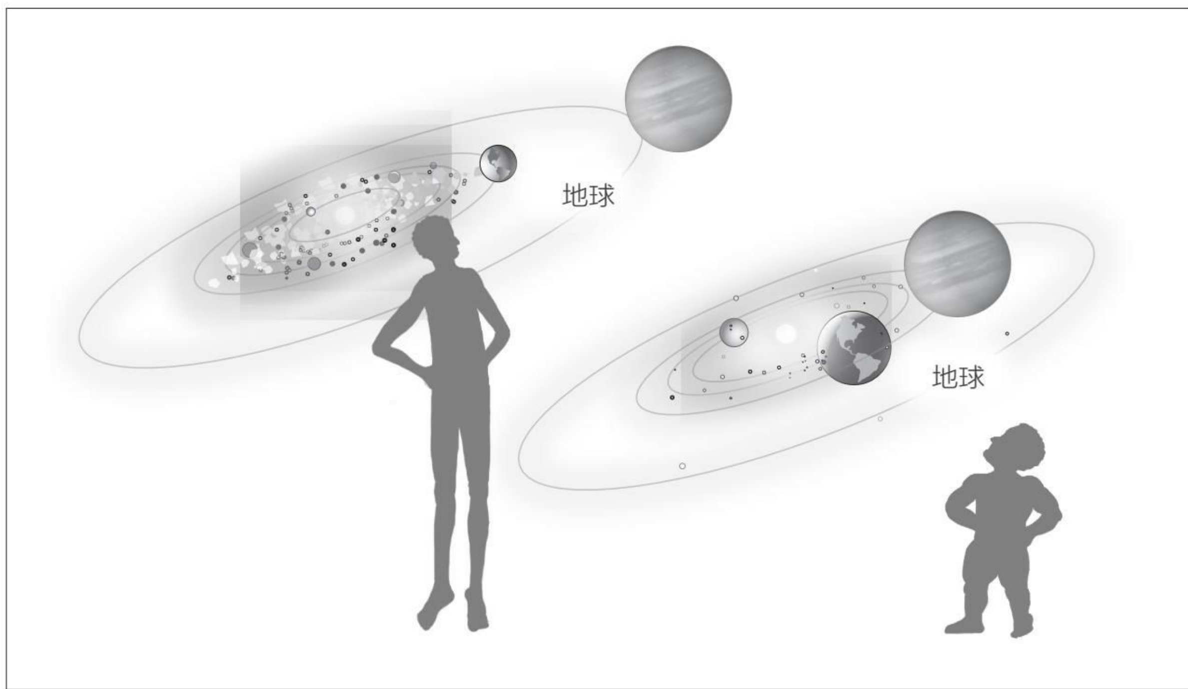
木星的质量相当于太阳系其他所有行星质量总和的2.5倍，相当于地球的300倍，它的内部可以装下超过1100个地球。这样一个庞然大物通过它的引力场对周边的邻居们施加着巨大的影响。它将小行星与彗星吸入它的引力场中。对于其他行星，木星与太阳的共同引力作用将它们拉入它的轨道平面。这场太空拔河比赛也定义了地球的轨道，并在很大程度上影响了它的历史。

46亿年前，一团尘埃云正围绕一颗新生的恒星运行——这颗恒星最终将成为我们的太阳。这时，如同史威登堡、康德和拉普拉斯设想的那样，一些碎屑团块开始形成。木星就像是人群之中一头两吨重的大猩猩[注]：作为太阳系中最大的行星，它对周遭的邻居们具有深远的影响。最初造就了这些行星的引力，实际上也让它们处于竞争和相互作用的关系中。想象一下形成过程中的地球所受到的来自太阳、其他行星，以及来

自这颗年轻行星内部引力中心的各种作用力吧。此时，一颗拥有强大引力场的巨型行星，如木星，就决定着地球的形成可以得到多少物质，以及形成后的地球相对太阳的位置。

从拉普拉斯时代起，有关太阳系起源的物理学计算就已经得出结论：木星的形成时间要早于地球。与木星展开的针对碎屑物的争夺战意味着，木星的位置将决定太阳系的其他部分的情况。如果木星形成的位置较为接近太阳，那么在太阳系内侧将形成数量更少，但质量更大的岩石质行星[注]。而如果木星形成于距离太阳较远的位置上，太阳系内侧将可能会形成数量更多，但质量相对更小的行星。因此，地球的质量和它到太阳之间的距离——决定液态水体和生命存在的仁慈条件——在很大程度上都是受到木星影响的结果。

我们对木星的依赖几乎体现在所有方面：从地球上液态水的存在，到我们身体的大小、形状和运作机能。木星的作用决定了地球的质量，也因此限定了地球引力场的大小，而这会对地球表面的一切事物产生影响。一个简单的思想实验便可以揭示这其中的关系网络。如果木星形成于距离太阳较近的位置上，那么地球的质量就会比现在更大，地球上的居民们所感受到的重力也会增强。虽然不太可能，但假设地球仍能成功地保住它的液态水体，那么它上面的生命也会非常不一样。任何一个工程师都知道，如果你想让一根棍子更不容易被弯折，只要把它变得宽一些就行。在其他条件都相同的情况下，一个质量更大的地球意味着，生物体将拥有更肥大、更宽的体型，以便对抗更强的重力。反过来，一个质量更小的地球意味着更弱的重力，因此生物体的体型会变得更瘦长、更轻。地球的质量大小决定了我们经受的重力强弱，也因此几乎控制着我们生活的各个方面——从我们身体的大小和形状，到我们如何运动、如何进食，以及如何与这颗星球进行互动。



3-4 不同的命运？观察木星对我们身体的影响几乎就像是在看一面哈哈镜。如果木星形成的位置距离太阳较远，那么我们就会生活在一颗质量更小的星球上，并且会拥有更修长的体态（左图）；而如果反过来，木星形成于距离太阳较近的位置上，我们的体态就会显得更加矮胖（右图）

从大爆炸之后那一瞬间物质与反物质之间的不平衡，到决定了地球宜居性的木星的形成，再到一枚精子从数以百万计的同类中偶然胜出与卵子结合，并由此决定了我们的基因——我们每一个人之所以会生活在这样一颗宜居的星球上，是因为我们都是中了乐透大奖的幸运儿。

但可以确定的事实是，再过数十亿年，太阳将会耗尽它的氢燃料，随后它会膨胀并变得极度高温。在这个过程中，地球几乎将肯定会失去它的全部水体。水体的缺失将会引发失控的温室效应，导致地球表面急剧升温。地球将成为下一个金星。而下一颗拥有液态水体以及适宜生命生存环境的星球，可能会出现在距离太阳更远的位置上。或许是太阳系中距离太阳更远，目前被冰雪覆盖的一颗天体——木星的卫星木卫二，或是土星的卫星土卫二。我们的好运气和让我们得以存在的舒适环境，都只是时间长河中的一瞬。

1. 伊曼纽·史威登堡（Emanuel Swedenborg, 1688~1772），瑞典科学家、神秘主义者、哲学家和神学家，被认为是历史上智商最高的人之一。
2. 奇瓦瓦州（Chihuahua State）：墨西哥的31个州之一，位于该国西北部内陆，与美国接壤。
3. 鲨鱼湾（Shark Bay）：世界自然遗产地，位于西澳大利亚州加斯科因，距珀斯北部约800公里。鲨鱼湾也是澳大利亚的最西端。
4. 这是叠层石（Stromatolite），它是由微生物，尤其是蓝菌，加上很多碳酸盐黏结堆砌而成，被认为是地球上最古老的生命痕迹之一。
5. 更格卢鼠（kangaroo rat）：也被叫做“袋鼠鼠”，一种小型啮齿动物，主要分布在北美西部、墨西哥、中美洲直到南美西北部的干旱荒地和草原地区。
6. 无颌鱼（jawless fish）：无颌类是最早的脊椎动物，也被一些学者认为是最早期的鱼类。其特点是头部没有颌，口部类似吸盘，不能咀嚼食物，主要靠滤食为生。
7. 硬骨鱼（bony fish）：脊椎动物亚门硬骨鱼纲所有种类的通称，包括现存鱼类的绝大部分，区别于软骨鱼，如鲨、鳐等。
8. 这里指氢的不同同位素，自然界中的氢以氕（1H）、氘（2H）和氚（3H）三种同位素形式存在，通常意义上我们所说的氢是指氕（1H）。
9. 海尔-波普彗星（Hale-Bopp）：正式编号C/1995O1，非常明亮，曾在1997年引发观测热潮。
10. 哈特雷-2彗星（Hartley 2）：正式名称103P/Hartley，一颗周期为6.46年的小彗星。
11. 勇气号（Spirit）火星车：美国宇航局“火星探索漫游车”（MER）项目的两辆火星车之一，在火星表面从2004年一直工作到2010年。它的孪生姐妹是机遇号火星车，目前仍在火星工作。
12. 阿诺·施瓦辛格（Arnold Schwarzenegger），美国著名演员，生于奥地利，体格强健，曾拍摄《终结者》电影塑造荧幕硬汉形象，2003~201 1年担任加州州长。
13. 丹尼·德维托（Danny DeVito），美国导演、演员。身材矮小，结合夸张的动作神态和机智幽默的言语，成为优秀的喜剧演员。曾出演《玫瑰战争》和《胡佛》等影片。
14. 威廉·安德斯（William Anders），美国宇航员，阿波罗8号乘员。此处所述场景即为著名的《地球升起》（Earth Rise），这张照片被誉为20世纪最著名的太空照片之一，甚至被认为直接促成了20世纪六七十年代西方的环境保护主义运动。
15. 严格意义上说，旅行者号飞船并未离开太阳系。1989年8月25日，旅行者2号飞船越过海王星，因此被认为抵达了太阳系的边缘。但实际上一般认为，太阳系的范围远达奥尔特云，距离可能在一光年之外，从这个定义上来说，旅行者号飞船才不过走了千分之一左右的距离。

16. 这里所述即为著名的《暗淡蓝点》（Pale Blue Dot），于1990年在美国著名天文学家卡尔·萨根的提议下由旅行者1号飞船拍摄。萨根著有同名经典著作，论述人类在宇宙中的存在与地位。

17. “水手”探测计划（Mariner Program）：美国宇航局在1962年至1973年实施的一项旨在对水星、金星和火星开展考察的空间探测项目，整个项目共发射10颗探测器，其中7颗取得成功，获得大量第一手的探测资料。太阳系最大的峡谷火星“水手谷”即以其发现者水手-9号的名字命名。

18. “金星”探测计划（Venera Program）：苏联在1961年至1984年开展的一系列金星探测任务，共有超过16颗探测器，取得大量重要科学成就。

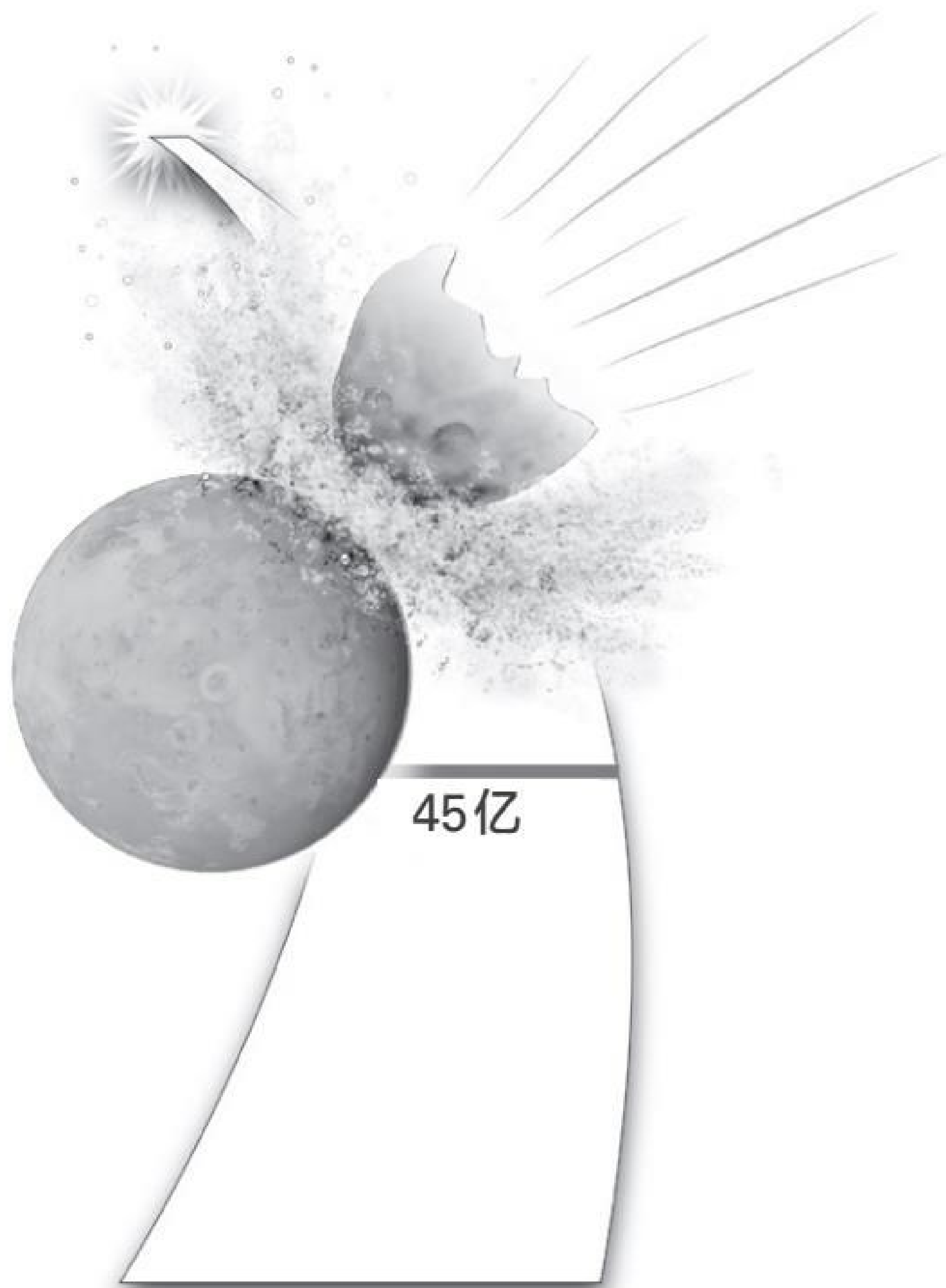
19. “先驱者”探测计划（Pioneer Program）：美国宇航局在20世纪60~70年代执行的一项行星际探测计划。其中最著名的为1972年与1973年发射的先驱者10号与1 1号飞船，此处所指为1978年发射的“先驱者-金星”探测项目。[20]即在其他条件完全等同的情况下，相比较大的物体，较小物体的“体积/表面积”比值更小。

20. 木星的英文是“Jupiter”，以罗马神话中的主神朱庇特命名。

21. 大猩猩的最大体重一般不超过300公斤，此处作者可能是做比喻，表明木星异常巨大的体型。

22. 太阳系的8大行星可以粗略的分为两组，大致以小行星带为分界。内侧是岩石质行星，包括水星、金星、地球和火星；而外侧则以气态巨行星为主，包括木星、土星等，主要成分是氢和氦。

第四章
关于时间



如果乘坐时光机回到45亿年前的地球，这趟旅程不仅将充满怪诞，同时也很危险。当时的地球大气中还没有氧气，天空中下着酸雨；你必

须穿着远超现代科技能力的特制宇航服才能幸存。来自太空的岩石和冰块不断地砸向地球，整个大地都在翻腾，温度高达上千摄氏度。在这样的高温下没有海洋：液态水或许形成过几次，但很快就会被蒸发殆尽。你感到绝望，希望皎洁的月光能给你一些安慰——忘了它吧，根本就没有月亮。

这个原始世界在向我们的现代世界的转变中留下了许多线索，它们散落在太阳系中几个不同的天体上。前后共有6艘载人飞船降落在月球表面，并带回了那里的样品。宇航员们携带着微型地质学设备，从月球表面的陨坑、高地和低地区域采集这些样品；而现在这些样品被浸没在液氮中，存放在两处样品库内，它们分别位于休斯顿和圣安东尼奥[注]。一些小的月球岩石碎片被作为礼物送给了外国政要，还有一些则充当了高雅的公共展品。所带回月岩的大部分，大约850磅（约合385.5公斤），仍然有待研究。被送到实验室进行分析的那部分月球样本，向我们述说了一个关于地球起源的精彩故事。

从对月球岩石的分析中得到的最大收获之一是：这些岩石是如此的“正常”。从矿物成分和结构上来看，月球岩石相比太阳系中其他天体的样本要更接近于地球岩石。有一个方面的相似性尤其显著：氧原子可以以不同的形式存在，这些形式之间的区别在于原子核内中子数量的多少。通过测量岩石样本内较重的氧原子及较轻的氧原子的数量，我们可以得到一个非常重要的比值。太阳系中的每个天体都有其独特的化学印记，就反映在其岩石样本中不同氧原子的比值上。出现这种情况的原因是：行星岩石中的氧原子成分，对它形成时距离太阳的位置非常敏感。然而月球岩石中的氧原子成分却几乎与地球相同。这意味着，月球与地球形成时距离太阳一样远——它们形成于同一轨道上。

尽管有着这样的相似性，月球岩石和地球岩石之间仍然存在一项非常明显的差异，那就是：月球岩石中几乎完全缺失了一类元素，即所谓的“挥发分”。这类元素——氮、硫和氢——具有一种共同的地质学特

征：当被加热时容易发生蒸发（这也是“挥发分”这一名称的由来）。在遥远的过去一定曾发生过什么，导致了月球的岩石被炙烤，从而损失了其中的挥发分。

从月球岩石中了解到的事实很清楚：月球上的矿物形成于和地球相同的轨道距离上，随后发生了某种爆炸事件。这些事实究竟向我们透露了关于月球起源的哪些线索呢？

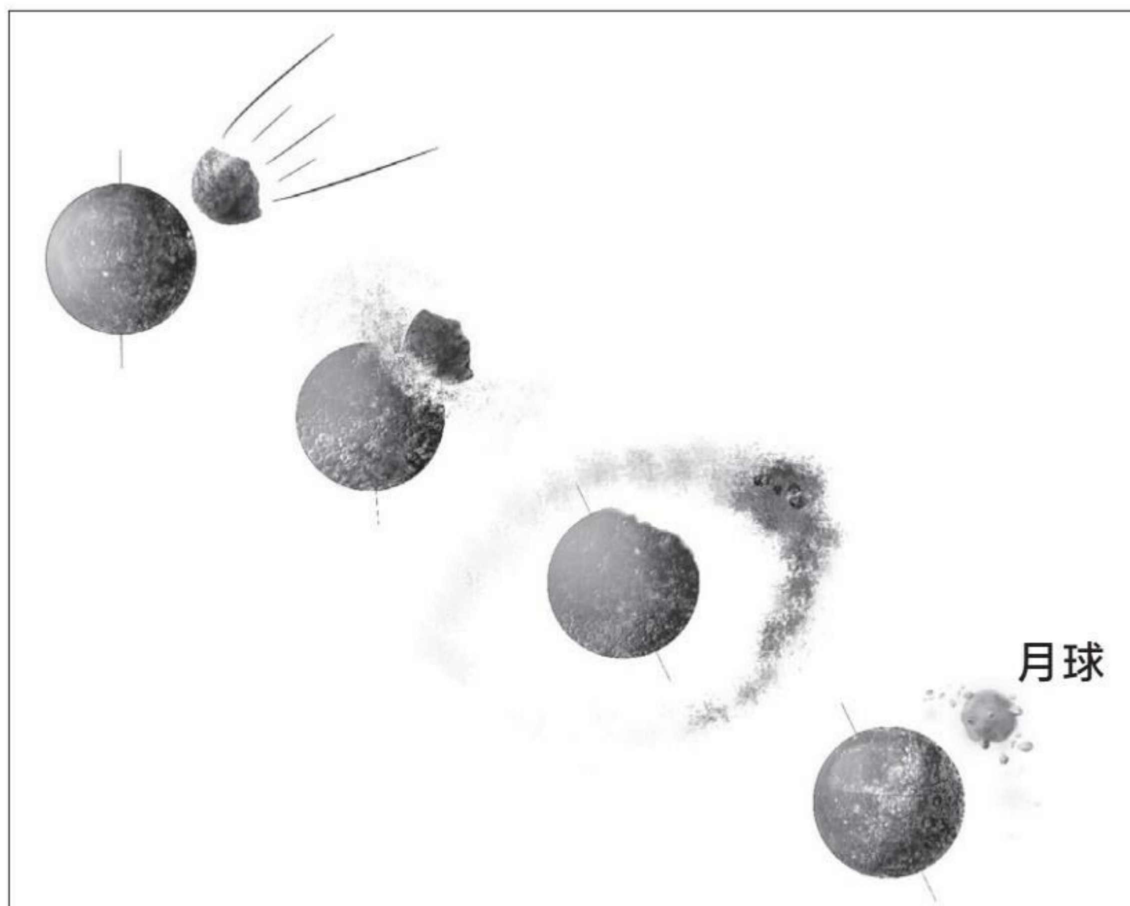
目前有关月球形成的最主流的理论是某种类似“赛车角斗场”的场景。这种在20世纪70年代的露天集会场地里非常流行的疯狂游戏中，人们会故意驾驶汽车相撞，最后那辆还能开动的汽车就是游戏的胜者。在整个过程中，汽车们会疯狂地相互撞击，其中那些最激烈的碰撞会把汽车上重量较轻的外壳撞飞——比如轮毂罩和保险杠——只留下汽车内件无助地困在场中。

这种类型的碰撞让我们多少得以窥见地球-月球体系诞生时的情景。大约45亿年前，一颗可能与火星大小相当的大型天体撞击了原始地球。与“赛车角斗场”上汽车零部件散落一地的情景相似，这样一次撞击将两颗天体上较轻的物质溅射了出去，而较重的部分则在高温下被熔化。这些较轻的部分——包括尘埃和微小的颗粒物——现在已经耗尽了挥发分，它们形成了一个物质盘，开始围绕地球运转。随着时间的推移，这个物质盘开始凝结，最终形成了月球。而这两颗相互碰撞的天体的核心部分并没有被抛射入太空，而是在由撞击产生的高温下熔化并逐渐冷却、凝固，最终形成了新的地核。除此之外，这场撞击重创了地球，使得它的自转轴倾斜了23.5度。

起初，有两个大型天体在同一个轨道上围绕太阳运行。随后它们发生了碰撞，形成了我们今天的地球和月球。自那场碰撞之后，这两个天体便被锁定在一场轨道之舞中——月球和地球相互吸引，而物理学定律和动量原理则决定了地球的自转和月球的公转。这一结果对我们的生活所产生的影响是显著而深远的：一天和一个月的长度，地球上的季节变

换，这些都是从地球-月球体系诞生之初传承下来的。

每一台钟表和每一本日历，就像我们身体里的细胞一样，都隐含着那场发生在45亿年前的巨大灾难的印记。



4-1 大撞击：月球的起源

计时的历史

古罗马人在控制他们庞大帝国偏远地区的官员方面，有一种行之有效的方法。凯撒(注)和他的同僚们并没有采用改划选区这类手段来保持自己的权力——通常人们会采用这种方法来扶持亲信、打击对手，而是找到了保持控制力的终极方法：篡改日历。在某个地区拥有政治盟友？那

就给他的任期加上几天。想要踢走另一个地区的对手？那就把他的任期从日历上划掉几天。这种方法的效果好得出乎意料。但随着时间的推移，各地不统一的历法让统治变得越来越困难，并且一年的长度也变成了政治性的改动、修订和妥协的拼凑之物。

地球公转的本质为这种滥用提供了机会。我们读中学时都学过这些内容，但到了大学，大多数人已经不记得行星公转的意义了。最近在哈佛大学的本科生中开展了一项调查，问题非常简单：是什么导致了季节的产生？超过90%的受访者给出了完全错误的回答。这个问题的答案并非夏天和冬天地球接收光照数量上的差异，也并非地球在空间中的来回摇摆或是地球在不同的季节距离太阳的远近不同。

在哥白尼时代我们便已经知道，月球围绕地球运行，而地球保持其23.5度的倾角围绕太阳运行。在地球轨道的不同位置上，太阳光照射地球的角度会发生变化。太阳光的直射导致了夏季较长的白昼和较高的气温；而太阳直射点的偏离和减弱则造就了冬季白天时长的缩短以及寒冷的天气。季节的产生并非因为地球的来回晃动，而是因为地球在围绕太阳运行时保持了固定的倾角。

由于这些不同的轨道会对我们的生活产生影响——地球围绕太阳运行，月球围绕地球运行——当编制历法时就需要做出选择。当然，一年的长度是根据地球围绕太阳的公转来制定的。如果我们知道一年中时间最长和最短的日子，我们就能将年根据季节拆分成不同的月份。另一种编制历法的方式是根据月亮在天空中的位置——随着它从盈到亏，再到新月，每29天重复一轮。但问题在于，你无法让基于月亮编制的历法与基于季节或是太阳编制的历法保持同步。原因很简单：月相周期的数量与季节周期的数量并不吻合。

那么现在该怎么办呢？我们可以加入修正因子。尤利乌斯·恺撒的历法中，每隔3年会有一个闰年，从而让月份与季节保持同步。但这样做对于天主教会来说存在一个问题，那就是，每年复活节的日期都会发

生较大幅度的变动。于是为了改变这种局面，教皇格里高利十三世[注]在1582年颁布了新的历法。意大利、西班牙和其他一些国家立即接受了这一新的历法，将1582年10月4日这一天重设为1582年10月15日，丢掉了11天。其他国家对这部新历法接受的程度不一。例如，英国及其殖民地到1752年才接受该历法。这部历法需要着手处理的最重要事务之一，自然便是何时征税的问题。

至少从理论上来说，年、月、日可以基于天体的实际运行来划定，而分和秒这样的单位则基本上是按照习俗制定的。我们之所以将一周定为七天，是因为《圣经》中“上帝用六天造物，第七天休息”的故事。分和秒采用60进位则是为了方便。古代巴比伦人有一套60进位的数字体系。另外60也的确是一个完美的数字，它可以被1、2、3、4、5和6整除。

人类是一个会计时的物种。在人类的许多历史中，都可以追溯到人们理解时间的方式。对时间的划分，除了基于天文学上的周期性规律，同样也基于我们的需要、欲望，以及相互之间互动的方式。当居住、狩猎和生存高度依赖对日期和季节的掌握时，人类逐渐学会了利用天上的太阳、月亮和星星来作为计时工具。一些早期的计时工具还利用地球的重力，如使用下落的沙子来计时的沙漏和利用水滴来计时的水钟，后者早在公元前4000年便出现在古代的埃及。而我们对于计时的需要本身也在不断发展和演化；伴随社会交流、商业和旅游业的发展，我们对时间的划分也愈发精细。对于我们的穴居祖先来说，秒的概念会像喷气式飞机一样让他们难以理解。

在我们的世界里，也有不遵循习俗、政治或是经济需求的“时钟”。人体内的DNA就是这样一台时钟。从漫长的时间尺度看，DNA序列中某些部分的变化是按照一个相对固定的速率进行的。这就意味着，如果你比较两个物种的DNA序列，就能够大致估算出二者大致在多久之前拥有共同的祖先：物种之间的DNA差异越大，它们各自独立演化的时间就

越长。正如我们在锆石的例子中所看到的那样，岩石中的原子同样能告诉我们关于时间的信息。只要知道岩石中铀、氩和铅等原子同位素的比值，我们就能大致知道这块岩体中矿物结晶的时间。

无论是我们身体内的“时钟”，还是岩石里的“时钟”，它们都并非独立运转，而是属于同一个行星和太阳构成的时钟体系。对人类、动物以及细菌体内DNA的对比结果显示，大约在30亿年前，这三者拥有共同的祖先。这一时间与我们发现的最早的化石岩层年龄相当。岩石与DNA分析得到的年龄值如此精确的契合，令人惊叹，尤其考虑到在这数十亿年间岩体所经受的所有炙烤和起伏，以及在同样的时间内生物体的DNA所经历的变异、演化以及不同物种之间的交换。不同自然时钟所得结果的一致性，让我们对自己的理论有了信心。而反过来，如果DNA时钟得到的结果和岩石时钟得到的结果不一致，那同样也能启发我们做出新的预测。在这方面鲸是一个很好的例子。鲸类中包含了地球上一些体型最为巨大的物种，它们的呼吸孔位于头顶中央，耳朵进化成了声纳的形式，还长有怪异的鳍肢、背部和尾巴。这些特征让鲸成了地球上进化最为极端的生物之一。然而，数百年前人们便已经知道，与鲸类关系最近的近亲是哺乳动物：鲸类拥有毛发、哺乳动物的腺体，以及无数其他类似哺乳动物的特征。但究竟哪类哺乳动物是与鲸关系最近的呢？鲸类又是在多久之前进入海中生活的？对鲸类以及其他哺乳动物的DNA进行的比对显示，鲸类可能是从偶蹄目哺乳动物——如河马和鹿等动物——中分化出来的一支。它们在基因和蛋白质方面呈现出的差异表明，这种分异大致发生在5000万年之前。但这又给古生物学家们出了一道全新的谜题，因为迄今，他们没有发现任何从哺乳动物向鲸类过渡的结构的化石，化石记录中也没有具有鲸类特征的古老生物。这个断档成为了一项挑战。但积极进行的古生物发掘工作最终为我们带来了明确的答案：古生物学家们在有5000万年年龄的地层中发现了一具鲸类化石，其骨架中含有踝骨，而这些踝骨的特征与河马及其近亲的踝骨很像。之所以能取得这样的发现，完全取决于对岩石以及DNA中不同时钟的比对。

岩石和生物体并不仅仅是时钟：它们还是日历。切开一块珊瑚，你会发现，珊瑚的骨骼本身是分层的，其中含有浅色和暗色相间的条带。随着珊瑚的生长，珊瑚虫会不断分泌矿物质并添加到它们的骨骼上，就像是给墙抹灰泥。这些矿物的形成与光照有关，因此层理之间的变化反映着每一天明暗交替的变化。除此之外，矿物的生长在白昼较长的夏季较快，而在白昼较短的冬季较慢。因此，在夏季生成的层理就会比冬季形成的更厚一些。计算每一个周期中厚与薄的层理总数，会得到什么结果？你会发现，它们总共有365层。珊瑚的骨骼可以作为一本年鉴了。

珊瑚之美不仅在于它展示了水下世界的瑰丽，还在于它是打开通往过去之门的钥匙。在艾奥瓦州、得克萨斯州甚至一直向北到加拿大境内，如果你砸开公路两边的岩石，就会看到古代的珊瑚礁遗骸——数亿年前它们曾在古老的海洋中繁盛一时。今天的芝加哥便建立在古代的珊瑚礁之上。而这样的珊瑚礁也诉说着时间本身发生的变化。观察一块有4亿年历史的珊瑚化石，你会发现它的内部有400条层理——这意味着，在很久很久之前，一年曾经有400天，比我们现在的365天要多出35天。是什么原因导致了这种差异呢？由于一年的时长由地球围绕太阳的公转决定，而这个值是固定的，因此4亿年前一天的长度肯定要比现在更短。要让这个等式成立，那么当时每天的时长必须缩短到22小时左右。在那些珊瑚礁形成后的漫长岁月里，每一天被增加了两个小时。

地球就像是一个逐渐减速的陀螺，它的自转速度每一年都在减慢，因此，现在的一天要比过去的一天更长。随着地球的自转，海洋中的海水随之流动并起到自转减速器的作用[注]。这就是为什么每一个今天都要比昨天多出2毫秒的原因。

珊瑚礁是一天时间逐渐变长的无声见证者。但在自然的世界里，时钟和日历随处可见，有时会出现在最意想不到的地方。

它在你的头脑之中

我匆匆忙忙搭建起自己的帐篷，没有留意到地上有一个小丘。这个小丘就在帐篷地面的中央，而用尼龙铺就的地面又很滑，因此每当我快要入睡时，我的睡袋就会滑向一个角落。我不得不像茧子里的蛹那样用力扭动身子来调整位置。在几个小时令人沮丧的努力之后，我决定换一个平坦的地方睡觉。在一阵疲倦和绝望中，我用衣服、书以及野外用的装备临时打了个地铺，然后蜷缩在上面睡觉。看起来在野外的第一天，我们花大力气建立营地是件好事。筋疲力尽的感觉终于让我沉沉睡去。

第二天，我被清晨的阳光唤醒，很快爬起来穿戴整齐——我可不想拖队友们的后腿。今天将是我们在格陵兰岛搜寻化石的第一天，尽管晚上没有睡好，但兴奋感让我出乎意料地精神抖擞。

我摸索着朝厨房的帐篷走去，我的第一项任务就是把咖啡煮上。我们北上的野外装备都已经打包整齐，想要找出放着早餐食品的那个箱子可不是一件容易事。我花了约10分钟研究打包清单和那一大堆的柳条箱子，最后终于找到了一些做早点的食材，并把咖啡煮上了。

生活是多么美好啊！这是一个阳光明媚的北极夏日清晨，干燥的空气让视野所见异常清晰，远处数英里之外的景物就仿佛近在眼前。我用盛咖啡的马克杯温暖着手指，品味着这种宁静，同时在脑海里规划着今天要徒步的路线。

在连续喝了几杯咖啡，享受了大约20分钟的宁静时光之后，我突然意识到，有什么地方不对劲。整个世界非常安静——有点太安静了。在这万籁俱静中，每一分钟都让我感到更加孤独。

我下意识地看了一眼手表，立刻知道了这孤独感的缘由：现在才凌晨2点——而我穿戴整齐地坐在这里，浑身精力充沛，正准备开始新的一天。我突然觉得自己是个彻头彻尾的大傻瓜，还是一个喝了太多咖啡

的大傻瓜。现在要想继续睡觉是不可能了，于是我拆封了一本小说——这原本是为下雪天不能外出的时候准备的。接下来的几个小时里，我只好强迫自己读书，直到队友们起床。

我为什么会那么早醒来？当然是因为阳光。我的帐篷不能阻挡光线，因此里面一直是明亮的。我的大脑早已习惯南方的世界，对于“阳光等于白天，黑暗等于晚上”这样的等式深信不疑。但在北极的夏季，24小时都有阳光照耀，像这种简单的关系在这里并不存在，于是，我大脑的日常“经验”完全失效了。我熟睡中的队友们——那些野外考察的老鸟——在来这里之前都早早备好了眼罩，而我带的却是手电筒。

在北极的最初几天对我真是一种折磨：我感觉生活失去了平衡，仿佛我的身体正挣扎着适应一个新的星球，就像是倒时差的感觉。这里没有夜晚，对于时间的唯一参照只剩下手表。但在这里待的时间越久，我的大脑便越能逐渐适应这里的节奏。太阳在天空中划过一个大大的椭圆，在一天的不同时间投下不同的阴影。现在我的大脑已经几乎可以不假思索地将任何树立着的物体变成一根日晷——当然在北极没有树，因此便由大块的岩石和帐篷承担了这个角色。

根据长途飞行的经验，我们都知道，我们的作息是与太阳同步的。我们身体的几乎每一个部分——每一个器官、组织和其中的细胞——都被按照白天和黑夜的节律进行了设定。在夜间，肾脏的活动会减弱。如果你想睡个好觉，少跑几趟厕所的话，这个特性就非常有益了——如果是在北极睡在一个睡袋里，这一点就更加有用。我们的体温在一天之中也会变化，体温最低的时间大致出现在凌晨3点前后。肝脏的功能同样会随时间变化：人类的肝脏在清晨时分的活动性最低，因此男孩子们如果想要节省约会开支的话，应该邀请对方共进早餐。

但我们的身体并非只对白天黑夜的节律做反应，它也会随季节调整。从冬到夏，光照、温度以及降水等因素都会出现变化。动物们会根据季节来调整进食和繁殖的方式，人类也是一样，甚至我们的情绪也会

受到季节的影响。根据一项调查，在南方的佛罗里达州，大约只有1.4%的人患有季节性情绪失调[注]，而在较北部的新罕布什尔州，这一比例约为14%。

醉汉们常感到时间飞逝，对他们来说，聚会仿佛才刚开始，宾客们就已经离席了。大麻可以将短短20分钟的一集《三个臭皮匠》[注]变得对你来说如同永恒。注意力的高度集中或是情绪都会让我们产生时间上的错觉。西方有句谚语叫做“心急锅不开”[注]，这句话实际上也体现了我们对时间的感知有时会与钟表存在偏差。

1963年，一位年轻的法国地质学家想要改变人们对时间的看法。年仅23岁的迈克尔·斯佛尔[注]已经造访过地球上的一些最大的未探索之地，这些区域都在地下。通过对地下世界的勘察，斯佛尔在阿尔卑斯山内部发现了一些巨大的洞穴和冰川。地下的景观是一个美丽又黑暗的世界，这片虚空之地启发了斯佛尔，让他开始思考一个全新的问题。

如果将人与钟表完全隔绝，会发生什么？我们每一个人都是钟表的奴隶：我们将每天的时间划分成小的片段，并以此为基础构筑我们的生活。我们不仅生活在一个由自然时间限定的世界——黑夜和白昼，温暖的夏季，寒冷的冬季——同时也将人类自己的发明塞进了这个方程之中。报警器、蜂鸣器还有闹钟，将我们与每一个时刻牢牢地拴在一起。如果我们彻底斩断与这些时间提示装置之间的联系，会发生什么呢？

斯佛尔决定将自己当作实验室的小白鼠进行实验，他打算在一个200英尺深的地下洞穴内生活两个月，与正常的人类生活完全隔绝。他带了食物、一张小床还有灯，但——这也是最重要的部分——他没有携带任何钟表，或任何可以间接提示他时间的物品。斯佛尔与外界的唯一联络渠道就是一部电话，他可以通过这部电话与地面上的朋友们通话，向他们报告自己的作息时间：自己何时醒着，何时在睡觉。他的计划是在那里生活60天，与我们这个世界的昼夜周期，以及所有基于这种周期

的钟表设备完全隔绝。

斯佛尔成了自己的实验动物，但他同时也是一丝不苟的记录者。他的日记里记录了自己每天的活动、体温、情绪状态，还有欲望。他在日历本上尽职尽责地记录下了自己每一天的身体机能以及心理状态。

当记录到第37天，也就是离原定计划还剩下23天时，斯佛尔与地面上的一位同事通了话。这位同事名叫皮埃尔（Pierre），是斯佛尔的密友。皮埃尔问他："如果这个计划快结束了，你想让我提前多久告诉你？"

"至少提前两天吧，我还要收拾东西。"

"那么快收拾东西吧，"皮埃尔说。实验已经结束了。只依靠心理时钟度日的斯佛尔"丢失"了23天。

究竟发生了什么？

答案就隐藏于斯佛尔的日记里。他尽责地记下了自己每次睡觉和醒来的时间，并在醒着的时候给自己的朋友打电话。但由于没有钟表，他无法知晓自己每次的睡眠究竟有多长。他以为自己只是打了个10分钟的盹，实际上却是长达8小时的酣睡。

斯佛尔深深地陷入了时间错觉之中。他打电话给朋友，想要看看能否仅靠数数来估算两分钟的时长。我们大部分人都可以差不离地完成这个任务，误差小于10秒左右。为了匹配两分钟的120秒，斯佛尔从1数到了120——但这个简单任务花了他5分钟。

当研究组对斯佛尔日记中的数字进行分析时，他们有了重要发现。斯佛尔仅凭自身感觉所经历的"一天"的时长——也就是他睡眠和清醒状态的时间之和——并非是随机的数字，而是几乎总是等于24小时。这种"休息－活动"的24小时周期与地面上的生活非常近似。地下的生活彻

底切断了斯佛尔对时间的感知，但他的身体周期仍然在按照地球自有的节奏运转着。

斯佛尔的实验引发了隔离研究的热潮。在他的洞穴实验之后的几年里，许多志愿者们参加了感觉剥夺实验[注]。在实验期间，仪器记录了他们的各项生理指标、大脑活动和行为。有些人在光线被限制或严格受控的实验室内连续待了数周甚至数月；还有一些人则更为极端，比如一位参与隔绝实验的雕刻家，他要在一间完全黑暗的实验室内度过几个月。这项实验仅仅进行几天就不得不终止了，因为当事人已经开始出现幻觉。

不管采用何种感觉剥夺手段，实验者们始终能得到一个不变的模式：不管你生活在黑暗的洞穴、房间还是其他任何封闭的环境，我们的很多生物学需求——睡眠、饥饿以及性欲——都存在着规律的周期。时间存在于钟表之中，存在于我们的认知之中，还存在于我们体内深处的某个地方。

科特·理查[注]的科学生涯开局并不顺利。第一次世界大战期间，在陆军服役了一段时间之后的他来到了约翰·霍普金斯大学，并在这里开始研究动物的行为在多大程度上受到其内在本能的支配。他于1919年抵达巴尔的摩，跟随一位当时在这一领域已经赫赫有名的科学家一同工作。但理查有所不知的是，他的新任导师在培养学生方面是标新立异的。理查被放进了研究生们习以为常的牢笼里——一间小小的办公室，一张图书馆的卡，还有其他一些零碎的东西。在安顿下来之后，理查只能完全依靠自己了。每一天都没有例会安排，没有指定的课程，没有讲座；他成了一个彻底的自由人。没有人提供指导——这就是他的科学生涯刚开始时所面临的情形：要么自己往前游，要么就沉沦。

在理查安顿下来后不久，他的导师给了他一个笼子，里面是12只健康的小鼠。导师交代给理查的话非常简单，几乎像是在威胁：“做个好

研究出来。”

于是理查开始给这些小鼠喂面包，整天整天地盯着这些老鼠。像一名优秀的科学家一样，理查开始记录这些老鼠每天的活动情况：它们何时进食，它们都做了些什么。然后有一天，他有了一个新发现——这个发现将改变他的研究生涯，并最终开辟一个崭新的科学研究领域。多年之后理查回忆起当时的情景，他说："那些老鼠在笼子里四处乱跳，过了很久之后才又安静下来。"

这些老鼠显然拥有固定的活动或休息、饥饿或惬意的时间规律。理查像一名专业的科学家那样，开始着手他的研究。一次他对于老鼠的活动有了一个不错的主意，于是开始在人离开之后让实验室的灯整晚地开着，之后又会连续几天不开灯。理查发现，老鼠们的活动规律并未受到影响。这些老鼠的表现就像数年之后的洞穴探险家斯佛尔一样。

通过这些简单的观察，理查从老鼠身上看到了一个将让他终生着迷的研究课题：这种内在的昼夜节律存在的基础是什么？是什么在控制着它们？

理查转而开始研究盲鼠。这些盲鼠无法感知光线和黑暗，但仍然保持着固定的睡眠与进食的节律。理查推测，在它们的体内必定存在着某种类似于钟表的东西，这种东西在追踪着时间的流逝。如果真是这样，它会存在于体内的什么地方呢？

他首先想到的是生物体内负责分泌各种荷尔蒙的腺体。这些腺体控制着生物体的心跳、呼吸以及其他身体机能。理查用化学药品打乱了老鼠体内的荷尔蒙平衡，并改变了它们的食物，最后甚至将这些腺体取出来进行研究。几年下来，他总共进行了200多次这样的实验，但每一次得到的都是同样的结果——不管他切除老鼠体内的什么部位，或是阻断何种荷尔蒙的正常分泌，这些老鼠的日常作息节律仍然如故。



4-2 科特·理查

理查又将注意力转向了老鼠的大脑和神经系统。他系统性地切除了老鼠脑部的各个部分来观察效果。1967年——也就是在他导师给了他一笼老鼠的45年之后——理查切除了一只老鼠大脑底部的一小块组织。这块被切除的组织还不如一颗米粒大，但它的切除却几乎完全消除了老鼠的节律行为。老鼠体内的“时钟”就隐藏在这个位于眼睛后部的一小团细胞之中。

这样的一群细胞如何能追踪时间？理查和他那种依靠组织切除的粗暴研究方法一直没能找到这个问题的答案。要想揭开谜底，我们将需要借助一种全新的科学方法。

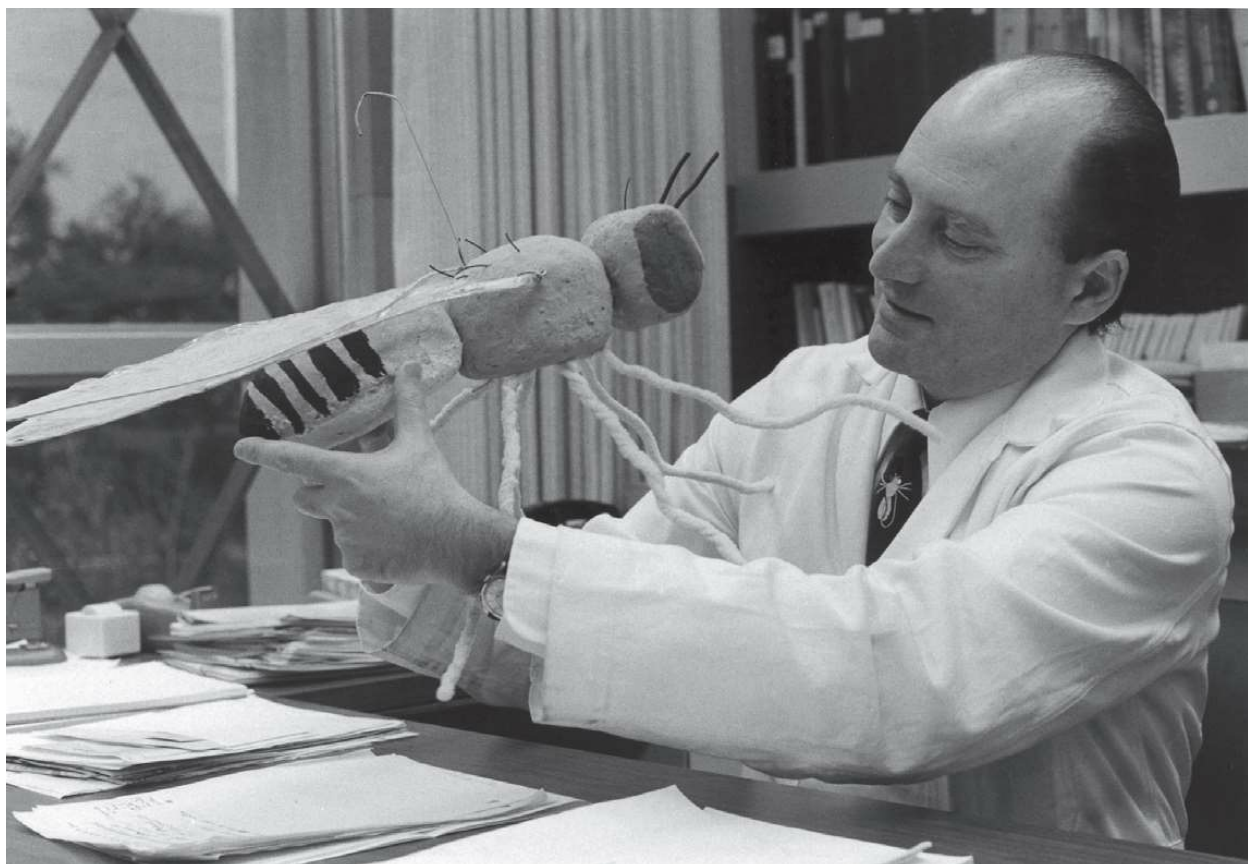
无处不在的时钟

基因突变属于生物学的范畴：6个脚趾头的猫、双头蛇还有连体的山羊。这些现象不仅能满足猎奇心理，还能告诉我们关于身体如何被构建及如何运作的重要信息。基因突变是指基因发生了错误，它在科学上的重要意义在于，它能“反衬”出正常的基因功能。

比方说，你发现了一只没有眼睛的动物。很显然，这一个体与其他生物个体之间在基因上出现了差异，导致了其眼睛的缺失。要想定位发生缺陷的特定基因需要开展大量的工作。但通过在这种变异的个体与正常个体之间开展繁殖实验，你就能最终找到这个基因；如果你足够有毅

力，甚至可以找出出现问题的特定DNA片段。了解这一DNA片段，是理解掌控生物体眼睛形成的分子机制的关键。对于控制身体其他部分发育的基因也同样如此。

这种方法非常有效，以至于科学家们四处搜寻发生了基因突变的生物体。在此过程中，有人功成名就，有人获得了诺贝尔奖，他们所做的工作包括对各种突变进行整理，或是找到了引起多余脚趾、下巴、眼睛、四肢或心脏畸形的目标基因。尽管回报可能会很高，但这种方法常常像是在赌博——有些类型的突变，在每10万个个体中才会发生一例。不幸的是，我们最感兴趣的生物——像我们一样的哺乳动物，却是最难研究的对象：因为它们成长发育所需要的时间比其他生物更长，需要更多的资源去喂养，并且它们身体发育的大部分关键时期都在母体内完成，从外部难以观察。



4-3 西莫尔·本泽尔

由于这些困难，在过去的100年间，果蝇成为了基因研究的最佳生物。与哺乳动物或爬行动物不同，你可以获得大量的果蝇：它们的生长和繁殖速度都很快。有了如此持续不断的研究胚胎的供应来源，再加上有一整个科学团体在从事相关研究并互相分享数据，大量的突变现象在实验室中显现出来，得到了记录和描述，并被保存下来供其他人研究。

但是，如果你能自行创造突变，为何还要等待大自然的赏赐呢？引发基因突变的方法相当直接，至少在理论上是如此。首先，你需要使用化学品或辐射照射的方法，干扰果蝇的DNA复制过程。一旦基因复制出现错误，在其下一代中就会出现各种各样的基因突变现象。对于果蝇来说，等待下一代的繁殖只需要大概一天时间。接下来你要做的就是检查出现的突变，找出你所感兴趣的那种。这些果蝇中有的长着怪异的腿，有些出现了眼部畸形，还有其他形形色色的变异。

到了20世纪60年代后期，西莫尔·本泽尔[注]在美国加州理工学院的实验室，已经成为了研究果蝇基因突变现象的中心。一名年轻的学生罗纳德·科诺普卡[注]带着自己的计划来到这里，希望开展基因突变的研究。本泽尔的实验室对行为观察很感兴趣，当科诺普卡开始工作时，本泽尔的团队已经积累了很多导致果蝇出现异常的繁殖与求偶舞蹈的突变现象的资料。

科诺普卡计划采用同样的手段来揭示生物体内的基因时钟。当时，过于精明的投机思维阻碍了他通往成功的道路。大部分科学家认为生物钟就像一个秒表，它太过复杂，很难进行分析研究。

但科诺普卡来对了地方。西莫尔·本泽尔有着想要理解生物钟机制的内在动因。他本人是个人尽皆知的夜猫子，喜欢在实验室熬夜，而他的妻子却往往一吃完晚饭就倒头睡下了。对于这种夫妻双方只有在吃晚饭的时间可以相互交流的婚姻状况，或许对果蝇基因突变的研究会有所帮助。

科诺普卡不知疲倦地观察着果蝇的发育过程。果蝇的卵会孵化成为蛆虫，蛆虫进食后，很快会化蛹并发育为完全变态的果蝇。它们从蛹中破茧而出的时间一般都是在清晨，这是一天中气温最低的时候。这种行为是它们体内生物钟的一种体现：在开灯-熄灯的人为周期中培育的果蝇，总是在一次熄灯周期结束的时刻开始破茧，因为它们的大脑将黑暗即将结束的时刻与黎明较低的温度自动关联了起来。

在进行了大约200次制造突变的尝试之后，科诺普卡注意到，有一批果蝇的行为完全陷入了混乱：有些出来的太早，有些则太晚，还有一些会在一天之中的任意时间出来。就是它了：这些破茧时间的差别几乎肯定地反映了某种基因层面的缺陷——这可能是一种由于生物钟基因突变而导致的缺陷。

于是研究组有选择性地让属于同一种突变类型的果蝇两两交配繁殖，从而得到了具有不同突变属性的全部果蝇家族谱系。借助这些突变谱系，科诺普卡和本泽尔搭建起了理解生物钟在分子层面的机制的舞台。

与任何一种“好”基因一样，科诺普卡发现，这是一种基因所制造的蛋白质在生物体内发挥作用的结果。知道了这种基因，意味着你可以提出一个重要的问题：这种蛋白质会在何时何处被激活？

在正常果蝇的体内，这种蛋白质浓度水平的峰值出现在傍晚时分，在白天则几乎完全消失。对这种正常节律的掌握，让科诺普卡和本泽尔得以理解这种突变。那些提前孵化的果蝇体内的蛋白质水平过早地达到了峰值，而那些推后孵化的果蝇则相反，它们体内的蛋白质水平达到峰值的时间太晚了。那么那些没有表现出节律性的果蝇呢？它们体内根本就没有起作用的蛋白质。这种蛋白质水平的变化与果蝇的生物钟节律精确吻合。

现在很多其他实验室也加入到研究这个问题的行列中来了。借助强

大的果蝇遗传学技术，他们成功地将相关DNA分离了出来，并找到了其他几种在此过程中发挥作用的基因。每发现一个新的基因，有关果蝇生物钟的图景便愈加清晰地浮现在人们的眼前。

任何一台钟表——即便是科诺普卡和本泽尔所发现的生物体内的“时钟”——都会像钟摆一样按照固定的节律来回走动。这种节律提供了测量时间单位的基础。观察身体内的时钟，意味着目睹细胞内的分子“钟摆”。在这里，计时主要是由一系列的化学反应实现的，这些化学反应按照由物理和化学原理设定的一定速率进行。当DNA被激活时，它就会制造出相互作用的蛋白质。这些蛋白质在细胞内部运输，并发挥一系列特定的功能，其中一项功能便是再次激活部分的DNA，从而让整个循环重新开始。这种钟摆一样循环往复的化学反应是由蛋白质的产生、合成、在细胞内运输以及最终与DNA之间相互作用的速度快慢来决定的。

变异的果蝇不仅为我们提供了一个崭新的窗口去观察控制着生物钟的基因机制，同时也为我们带来了一种看待人类的全新视角。

就在科诺普卡和本泽尔的发现之后大约10年，一个名叫马丁·拉尔夫（Martin Ralph）的研究生决定弄清哺乳动物体内是否存在着控制生物钟的基因。他和他在俄勒冈大学的导师用黄金鼠[注]进行了实验。在实验中，他们让这些小仓鼠使用微型跑步机，以此来监视它们的活动。正常黄金鼠的休息和活动时间可以通过它们在跑步机上花费的时间长短测算出来[注]，两者之和大致是24个小时。

每当有一批新的黄金鼠送来实验室，拉尔夫就会让它们在跑步机上跑一跑，希望能从中找到作息时间模式异常的小鼠。拉尔夫坚信，在每周运来的小鼠中，一定会有变异的情况出现。

一天，拉尔夫又收到了一批新送来的黄金鼠，他将这些小鼠放进笼子，并让它们使用微型跑步机。令他感到兴奋，而且无疑是大舒了一口

气的是，其中一只黄金鼠每天活动和休息的时间总和很明显不是24个小时，它遵循的是22小时的活动周期。拉尔夫让这只小鼠与其他小鼠交配，发现它的后代同样显示出更短的作息时间周期。这只黄金鼠异常的生物钟是由一个突变的基因导致的。

当拉尔夫和其他研究人员深入探究这一基因活动的细节时，他们发现，受这种突变影响的主要是大脑中的一小部分细胞。基因突变这种事可遇不可求：拉尔夫很幸运，他的坚持得到了回报。

到了20世纪90年代，故事继续向前发展着。在美国盐湖城，一名女士走进了当地的一家睡眠诊所，抱怨她的一个怪毛病。这名患者称，自己每晚都会很有规律地睡8个小时，但无论她多么努力保持清醒，到了晚上7:30她就一定会睡着。但这就意味着，在凌晨3:30她就会醒过来。她的生物钟在按照正常的节奏运行，只是时间上发生了偏移。听上去耳熟吗？

进入睡眠诊所就意味着被监测。你会被戴上眼罩，在入睡时被连接到各种线路与机器设备上，这些都是为了获取在你睡眠时身体功能方面的参数——你的呼吸、心率以及体温，等等。每项测试的结果都表明，这名女士的健康和行为并没有什么异常。

在测试开始后不久，这名患者告诉了医生们一个惊人的事实：她的家族中还有其他几位成员也拥有同样的睡眠时间表。在这个家族的睡眠习惯中，存在着好几个谜团。家族中其他一些成员同样醒来很早，但他们通常都生活在不同的地方。在某些情况下，亲属们在孩童时期都拥有正常的睡眠时间，但在离开家之后，他们便逐渐转变为早醒的睡眠模式。一个接一个的事实让研究人员们开始怀疑，出现这种情况的原因并非来自他们的家庭、饮食或环境。

研究人员对这名女士的家族进行了谱系调查，详细标注了她的家族中哪些人拥有早醒的问题，哪些人没有。一个模式逐渐变得清晰起来：

这是一个典型的基因遗传特质，就像是发生变异的果蝇。

但光凭家族谱系的研究还无法找出DNA本身发生的改变。这一层面上的理解需要将细胞从身体内取出来——方法就是从每一名家族成员的口腔中用棉签拭子取样，并对那些早醒的家族成员以及正常时间醒来的家族成员的DNA样本进行比对。如果确实存在基因上的差异，那么在他们DNA的某些片段上应当会有表现。

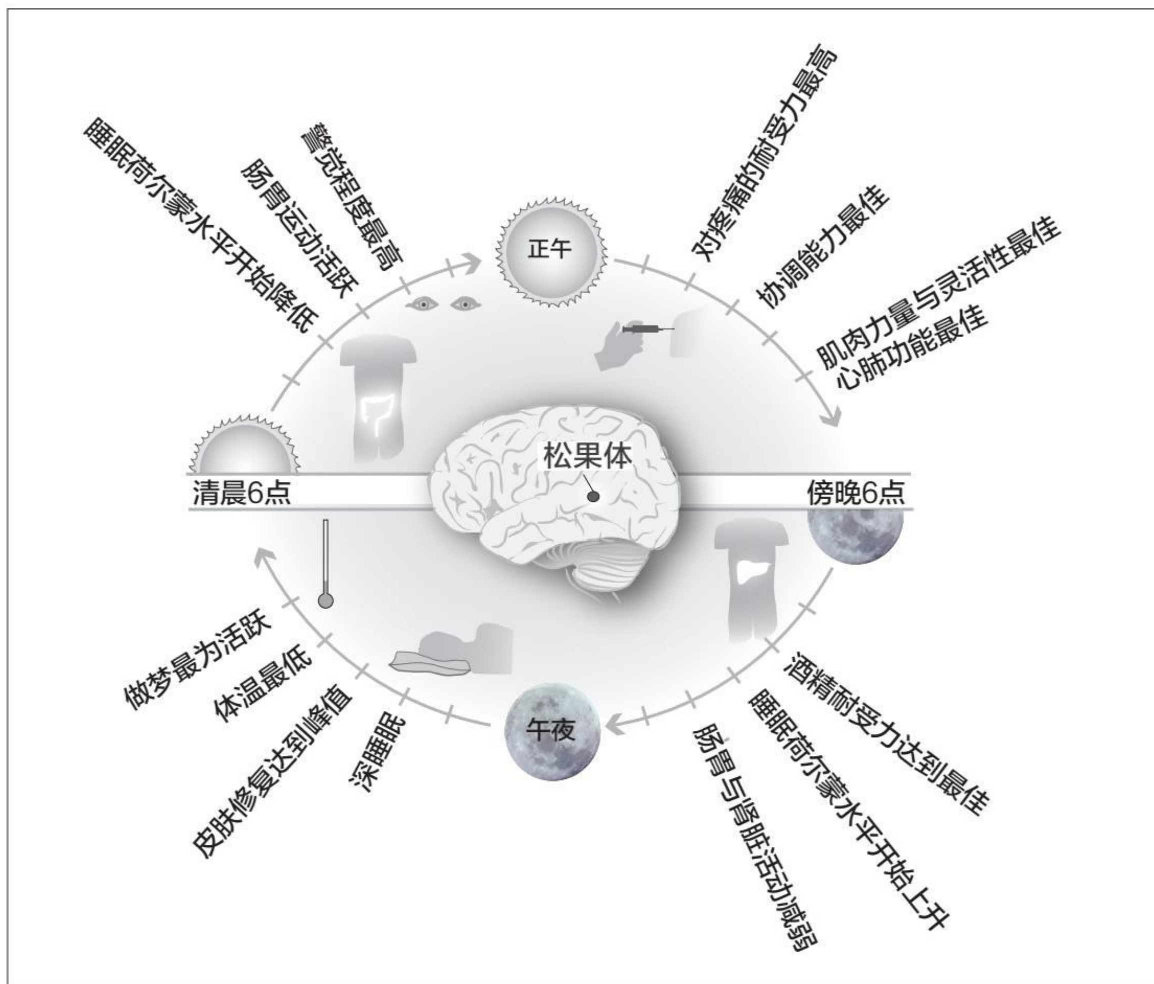
对早醒家族成员和作息正常成员的DNA比对结果显示，这种睡眠模式的改变非常精确地由一个基因的变化引发。基因和蛋白质会到处留下它们的踪迹。一旦你知道了一个基因或蛋白质的序列和结构，接下来在其他细胞中找到它们就会容易得多。沿着这条由DNA问题引发早醒睡眠问题的线索，可以一直追溯到马丁·拉尔夫的早起的黄金鼠，还有科诺普卡和本泽尔的过早孵化的果蝇。每一个物种在其生物钟内部的蛋白质反应机制上各有特点，但驱动这一生物钟的“分子钟摆”背后的基因和原理却是相通的。果蝇、仓鼠和人共享着一部分生物钟机制、基因以及它们的历史。

相似的DNA时钟不仅将我们引向了与其他物种之间的深层次联系，同时也揭示了我们身体细胞内部的一项基本机制。相同的基因时钟隐藏在每一个细胞之中——从理查发现的那一小块组织，到你指尖的皮肤，再到肝脏和大脑的所有细胞，它们都拥有着相同的基因时钟。如果你的睡眠障碍是由基因层面的原因导致的，医生只要通过你的一小块皮肤、一滴血或是用棉签拭子刮一下你的口腔壁便能做出诊断。每一个细胞都遵循着“分子时钟”所设定的昼夜节律，它的历史至少可以追溯到动物诞生时的久远年代。

那么，是什么设定了我们细胞内的时钟，并让它与一天的时间同步呢？一台旅行时钟可以保持24小时的时间周期，但它无从知晓自己所处的时区：它需要有人来设置它在这个星球上的位置。我们为何会经历旅行时差，或者像我之前那样，在北极夏天的凌晨两点钟就爬起床呢？

我们的分子时钟通过一系列的触发机制与外部世界相协调，其中最重要的机制是光。进入我们眼睛的大部分光线，最终会以信号的方式进入我们大脑中专门负责处理视觉信息的部分。但这些信号中有一部分会被传送到大脑中的另一个区域——就是理查所发现的那个小小部位。这些信号随后从理查发现的那个大脑部位再次传出，抵达大脑底部一个名为“松果体”的豌豆大小的腺体。在包括伟大的法国哲学家勒内·笛卡尔在内的一些人看来，松果体是人的灵魂的所在。在某些蜥蜴和鱼类身上，松果体在某种程度上起着第三只眼的作用，它可以直接记录光线信息。在我们人类体内，松果体就像是一个信息中转站。它会分泌褪黑素，从而启动全身一系列的相关反应。

这一反应链条——从光线，到松果体，再到褪黑素和由它触发的反应，让我们的身体与一天的时间保持同步。正是这种信号将我们体内的时钟设置到与白天的光线以及晚间的黑暗相适应。当我们到一个新的时区旅行，这一机制将重新设置，从而让我们适应新时区的昼夜周期。



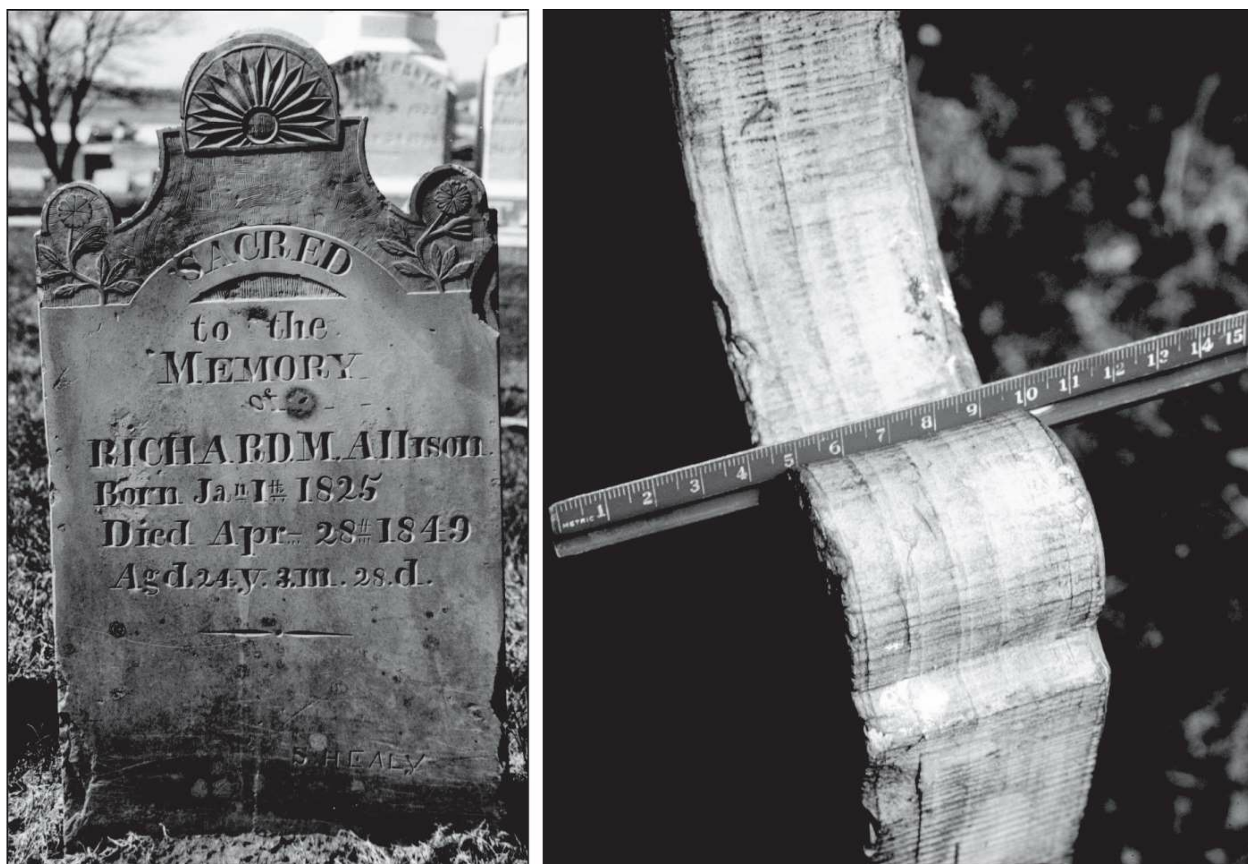
4-4 一天之中的身体功能

在正午时分用强光照射一个人的眼睛会发生什么？一般而言，什么都不会发生，他（她）只会稍稍调整一下自己的眼睛。而如果在傍晚这样做，则可能会影响对方的睡眠。在傍晚用强光照射人们的眼睛，会让他们比平常更晚才感到疲倦。反过来也是一样：在黎明时分用强光照射一个人的眼睛，对方的睡眠周期可能会被调节到比平常更早的时间上。当我们的大脑在预期黑暗时却感受到光亮，我们的睡眠周期就会据此进行调整。在这个电子设备盛行的年代，我们的眼睛在一天中会不停地接受人工光源的照射，每次在半夜时分发送一条短信或一封电子邮件，我们都在重新设定身体的生物钟。在我们生活的这个时代，我们体内的古老生物节律与现代社会之间出现了脱节。

我们的身体健康很大程度上取决于生物钟：白天睡觉、晚上工作的夜班工人罹患心脏疾病和某些种类癌症的几率更高，尤其是乳腺癌。研究老鼠的科学家们发现，皮肤细胞的DNA错误修正功能遵循生物钟的规律：它在晚间最为活跃。在清晨时分进行复制的DNA是最容易发生错误的。当DNA复制发生错误时，来自太阳的紫外线辐射就会造成皮肤的癌变。将这些事实联系起来，我们就能得到结论：对于老鼠而言，清晨照射到皮肤上的紫外线比晚间的更具致癌作用。人类同样拥有这样的生物钟，只是我们的生物钟与老鼠的相反：我们的DNA修复机制最活跃的时间是在清晨。这就意味着，在傍晚晒太阳将比在清晨时分这样做具有更高的致癌风险。

考虑到DNA的运作机制和细胞的分裂都依赖于内部的生物钟，那么也就不难理解，为何某些药物在一天之中的特定时间段服用效果才会最好。我们的新陈代谢同样也受到生物钟的影响：睡眠不足甚至会增加罹患肥胖症的风险。我们对于疾病的耐受性，同我们体内的每一个器官、细胞或是基因一样，携带着45亿年前我们这颗行星形成时留下的印迹。

在印第安纳州南部，大地被星星点点的墓地点缀。这里埋葬的是18世纪晚期在这里生活的欧洲移民。这是一群朴实的人们，他们艰难的生活被记录在了他们的墓碑之上。这些人中很少有人能活到40岁，而根据墓碑上雕刻的时间，在某些年份这些墓地曾经非常繁忙。由于地理环境上的巧合，这些定居者们发现了一种用来制作墓碑的最佳材料。这些岩石质地细腻且异常坚硬，19世纪镌刻的文字到今天依然清晰如初。



4–5 （左）采自辛德奥斯坦采石场的石料制作的墓碑；墓碑侧面代表潮汐变化的起伏波纹（右）

我们太过于习惯只看墓碑的正面，而常常会忽略它的侧面——那里也隐藏着一些故事。这些先驱者们的墓碑两侧并不平整，而是由一系列的条带组成，条带上是一条条的小脊和凹陷。这些岩石是从印第安纳州辛德奥斯坦（Hindostan）附近的一座采石场开采的。从出露的岩层中，我们可以了解到这些岩石是如何形成的。数亿年以前，印第安纳州的这片地区被海水覆盖。年复一年，潮汐水流在海底的软泥上留下了道道波痕。墓碑侧面的这些纹理拥有节律性，它记录着一年之中潮汐的变化情况。随着地球的自转和月球的公转，海水不断涨落，这些最终都被以一道道细细的纹理记录在了沉积岩层之中。这些墓碑的侧面所展现的，正是这种远古潮汐的节律，当时的地球自转比现在更快，一天的长度也比今天更短。时间被镌刻在这里的每一块墓碑上，它是人类和这颗星球共同的杰作。这片墓地中埋葬的人以及镌刻有他们名字的岩石，与宇宙中

运行碰撞的天体共享着同样的历史，这些历史在它们身上留下了深深的印记。

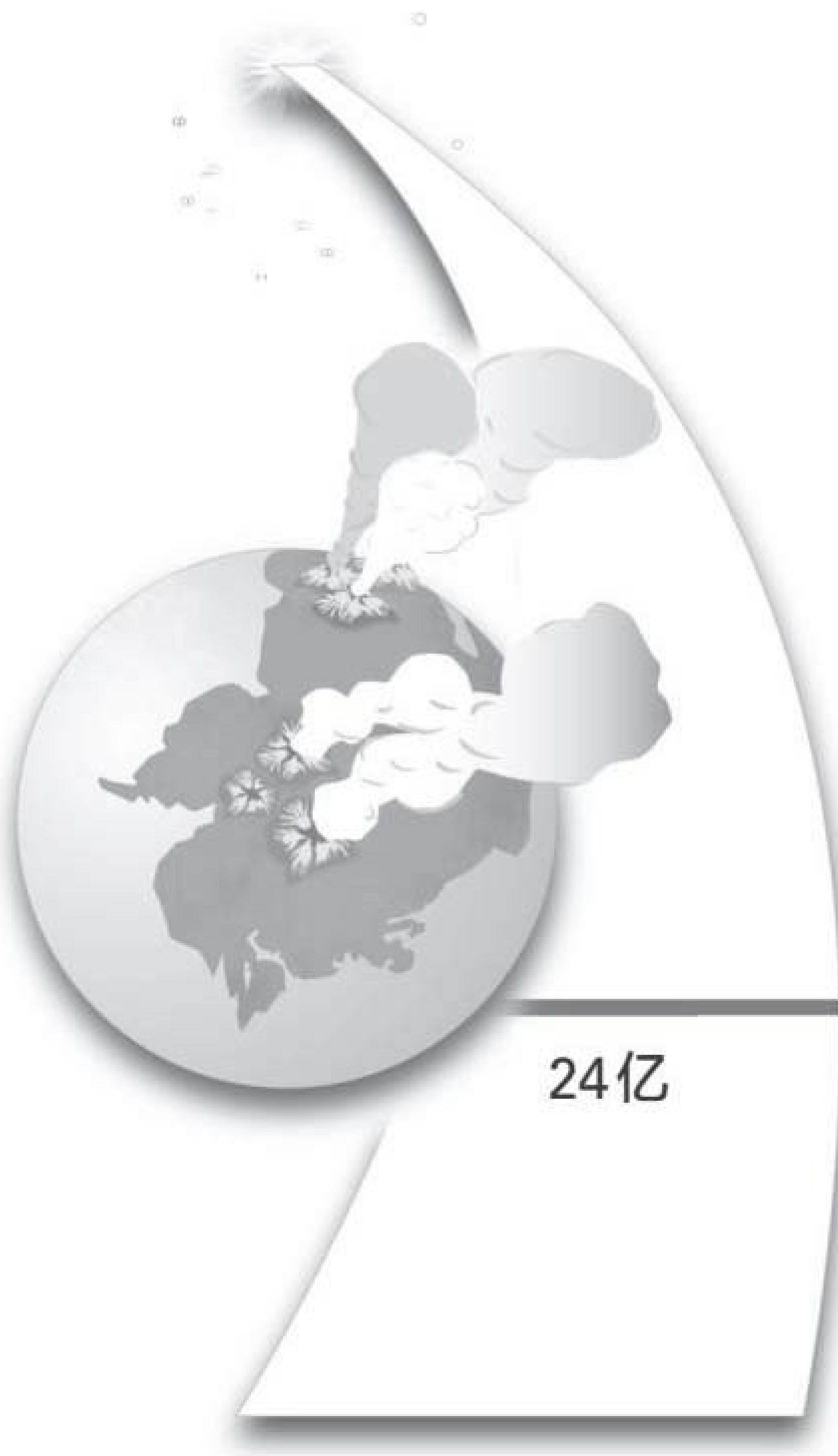
---

1. 休斯敦（Houston）和圣安东尼奥（San Antonio）都是美国得克萨斯州的城市。
2. 尤利乌斯·凯撒（Julius Caesar，公元前100年~公元前44年）：罗马共和国末期的将军，政治家、独裁者。
3. 教皇格里高利十三世（Pope Gregory XIII，1502~1585）：罗马教廷第227任教皇，于1582年改革历法，颁布了格里高利历。
4. 地球自转的减速：月球引潮力引发固体地球表面起伏达到20厘米左右，在陆地和海洋中，尤其是在大陆架浅海区的潮汐与海底摩擦，损耗部分能量，这会造成地球自转的动能损失；另外，由于地球自转远快于月球的公转，地球在此过程中会将一部分角动量传递给月球，同样造成地球自转的减慢，而月球在此过程中会获得角动量，逐渐远离地球。
5. 季节性情绪失调（SAD）：也称冬季忧郁症，是一种呈现季节性发作的情绪失调。大多数患者在一年中大部分时间都状态良好，但在冬季或夏季却会出现抑郁症状。此现象在热带季节变化不明显的地区较为少见。
6. 《三个臭皮匠》即美国家喻户晓的情景喜剧短片《活宝三人组》，在2012年被改编为喜剧电影，讲述三个臭皮匠妄图一夜暴富的故事。
7. 心急锅不开：比喻你越是盯着烧水的锅子看，好像它就越是烧不开。类似我国古谚：心急吃不到热豆腐。
8. 迈克尔·斯佛尔（Michel Siffre，1939~）：法国地下探险家，地质学家。
9. 感觉剥夺实验（sensory deprivation）：指故意从一个或多个感官减少或去除刺激的实验。如使用眼罩、头罩和耳罩切断视觉和听觉分别，而更复杂的设备还可以切断嗅觉、触觉和味觉。长期的感觉剥夺会导致极端焦虑、幻觉甚至抑郁症。
10. 科特·理查（Curt Richter，1894~1988）：美国生物学家、遗传学家。他确认了下丘脑是与人体生理节律有关的调节中枢。
11. 西莫尔·本泽尔（Seymour Benzer，1921~2007）：美国物理学家、分子生物学家及行为遗传学家。
12. 罗纳德·科诺普卡（Ronald Konopka）：前美国遗传学家，专攻时间生物学，以其对果蝇的研究并发现控制昼夜节律的“周期基因”而为人所知，后退出科学界。
13. 黄金鼠，又名叙利亚仓鼠，有时也被称为“金丝熊”。是仓鼠的一种，原产于叙利亚、黎巴嫩、以色列等地。饲养的这类小鼠被广泛作为宠物或科学实验动物。
14. 在小型啮齿动物的实验室饲养中广泛采用专门的“微型跑步机”。它们对此有极高的兴

趣，只要有机会就会不断地在里面奔跑。对此现象的解释一般认为可能是出于对运动和探索的需求，或是一种本能的自发行为。这种固定的活动模式很适合被用于研究动物的昼夜节律。

15. 勒内·笛卡尔（René Descartes，1596~1650），法国哲学家、数学家，被誉为现代哲学之父。“我思故我在”是其最著名的哲学观点之一。

第五章
从小到大



大约46亿年前，年轻的太阳将周围的物质拖入了它的轨道。在这一过程中，大量的岩石和冰块互相碰撞并结合。形成月球的那场浩劫只是众多类似规模的大撞击之一：对月球表面陨击坑以及落到地球上的陨石的研究让我们了解到，一直到大约39亿年前，这样的撞击事件仍然是司

空见惯的。之后，狂暴的时代慢慢终结，相对平静的时期开始了。

但就在这平静之中，地球给科学家们留下了一个让他们困惑不解的谜团：位于最表层，因此也是最年轻的地层中，含有各色各样的壳和骨骼化石，就像今天你在任何一家自然历史博物馆中能看到的那样；而在这些岩层的下方，即那些更加古老的岩层中，却找不到任何生命的痕迹：没有骨骼化石、动物痕迹、植物孢子或是任何与生命有关的迹象。

并且，这种毫无生命迹象的岩层并不是薄薄一层，而是有整整几英里厚。整个人类历史——还有这个星球上的整个生命史本身，都封闭在那层薄薄的壳层中。这就好比：如果将地球的历史浓缩成一年，假设它在新年元旦那一天形成，而现在是这一年的12月31日，那么直到这一年的11月中旬以前，地球上都是完全没有生命的。如果我们用现实中的时间来描述，那么地球在大约前40亿年的时间里都是完全没有生命的。正如查尔斯·达尔文所说，在这样一个巨大的空档之后，生命的突然出现实在是一个“难以理解的谜题”。

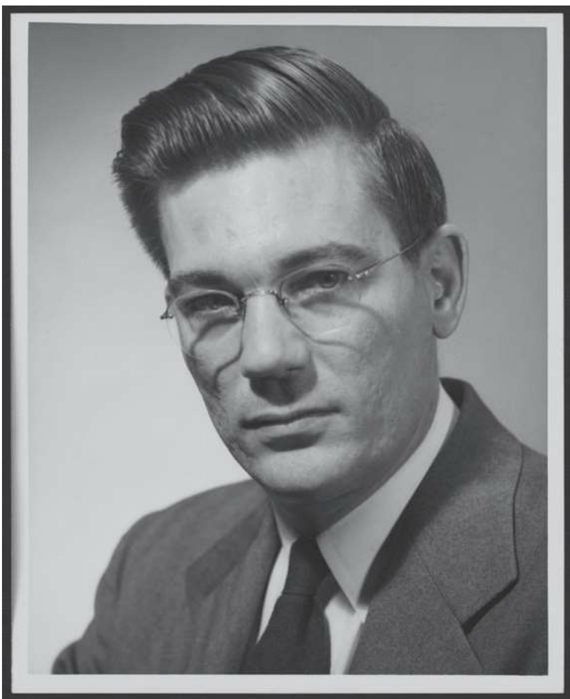
对于达尔文这个疑问的解答，以及有关现代世界如何形成的线索，来自一个没有人会想到的地方。

在美国印第安纳州的格雷（Gary），到处矗立着巨大的钢铁厂，仿佛是繁兴一时的古老年代所留下的高大的化石骨骼。在20世纪50年代，繁荣的经济催生了迅速发展的汽车产业，汽车厂如雨后春笋般在整个中西部地区建立起来。对钢铁的需求空前巨大，而像斯坦利·泰勒（Stanley Tylor）这样的地质学家的职责便是寻找铁矿石，以满足工业界的巨大需求。

由于含有铁矿的岩石位于最古老的岩层之中，因此像泰勒这样的矿藏地质学家一般都会将注意力聚集于此。泰勒知道，这些岩层对于工业意义巨大，但对古生物学则毫无意义。

20世纪50年代中期的一个午后，泰勒正在对他采自密歇根州北部一个测试深井中的样品进行研究。他将来自不同层面的岩石切片带回了位于威斯康星州麦迪逊的实验室。在那里，这些样品切片被打磨得非常薄，以便放在镜下观察其中矿物与颗粒的精细结构。泰勒坐在一台显微镜前，手边放着一份核对表。他在对这些岩石切片进行常规的检查——查看它们的颜色、颗粒大小以及矿物成分。这是一项非常机械的工作，但却是许多地质学研究工作必不可少的部分。

当泰勒将其中一片切片放在显微镜下观察时，他看到了一些他非常熟悉，但完全不应该出现在这里的东西：煤炭。泰勒知道，煤炭代表的是古代植物的残余物，而当时已知的绝大部分煤矿所在地层的年龄都不会超过3.5亿年——那是一个植物繁盛的地质年代。但泰勒同时也很清楚自己正在观察的这个采自密歇根州的岩石切片的年龄——它几乎有20亿年的历史。一定是有什么地方完全搞错了。



5-1 埃尔索·巴洪

泰勒不敢相信自己的眼睛，出于谨慎起见，他将这一切片交给了专家鉴定。几经周折，切片最后被交到了埃尔索·巴洪[注]手里。巴洪是哈佛大学比较动物学博物馆的古植物学专家。在显微镜下查看了这片切片后，他立即确认了泰勒的直觉。泰勒发现了地球上迄今已知的最古老的生命——能够形成煤炭的植物。

这一答案引出了全新的问题。巴洪查看的切片越多，就发现越多的古代生物种类；每一个样品切片中都充满了植物的孢子、细丝以及数以千计的单细胞生物。我们星球深

处最古老的岩层中并非空无一物，而是几乎充满着生命。

于是，当初那个“难以理解的谜题”现在已经不再是生命缺失的问题，而是如何去理解当时竟然会有那么多的生命，并且此前一直不为人所知。地球上的生命究竟最早是何时出现的？最早出现的生命体又是什么模样？由于这是一个有大量问题需要回答、有大量生命体需要寻找的全新领域，一个新的古生物学分支诞生了——其工作目标便是在数十亿年前的古老岩层中寻找显微生命体。

在地球最初的20亿年里寻找化石，具有特殊的挑战性。那些容易保存超远古化石的岩层很可能已经被完全侵蚀殆尽，或是在地球内部热量和地质运动的作用下遭到完全的破坏。退一步说，即使成功地找到了理想的岩层，你又如何能判断其中的一些显微颗粒物或细丝就是远古时期的生命体，而不是某些矿物或岩石中的包裹体呢？研究早期生命的科学，是一门从化石样品中构建多线索证据链的学问：从形态和结构，再到化学。我们不仅要寻找那些外观与单细胞生命相似的生命体，还要揭示其新陈代谢的化学机制。

斯坦利·泰勒、埃尔索·巴洪和后来的科学家们共同揭示了一个隐藏在岩石中的秘密：最早的化石年代距今至少已有34亿年之久。生命很早便在地球上出现了，并且在那之后迅速发展，很快便演化出一大批不同种类的细菌、藻类以及它们的近亲物种。

尽管这些生物种类的多样性超出想象，但在最初10亿年里统治地球的这些生物体具有一个共同的特征——它们都是单细胞生物，体型微小。虽然其中有些种类聚集在一起并形成群落，但在地球历史的最初30亿年内，还没有任何一个生物种类的单体大小超过一颗米粒。大体型生物的时代还没有到来。

透过镜片观察

“那一只死了，”托马斯·巴伯[注]喊道。他是哈佛大学比较动物学博物馆的馆长，此时他面前的草地上正躺着一只一动不动的青蛙。

在巴伯头顶的屋顶上，站着他的同事菲利普·达灵顿[注]教授。他手里提着一个桶，里面装满了青蛙；另一只手则一只接一只地把青蛙从5层楼顶丢到下面的草地上。

每当有青蛙落到脚边的草地上并一动不动时，巴伯就点一下头。当达灵顿拎着空桶走下楼来询问青蛙们对撞击的反应时，巴伯看了看洒落一地的青蛙，说：“都死了。”

达灵顿是一位传统的博物学家：当他没有在哈佛大学上课时，就会去树林里寻找各种新物种，尤其是甲虫。有关他在野外工作的故事已经成了传奇，比如有一次，他被一条鳄鱼咬住并拖到了河底，正当鳄鱼准备吃掉他的时候，他用腿猛踢鳄鱼并奋力挣脱了出来。上岸后，他拖着受伤的腿和手跋涉数英里，终于抵达了安全地带。而在当晚他写给妻子的信中，他只是轻描淡写地提及自己“和鳄鱼发生了一段小插曲”。

20世纪30年代，当达灵顿教授进行着他的探索的时候，学界对于动物如何向全球的陌生地域扩散这一问题正展开热烈的讨论。当时板块构造论还没有提出，主要有两大理论来对此进行解释：一种理论是，各个大陆之间曾经存在大陆桥，但现在已经消失了——正是这些大陆桥让动物们能够从一处地点抵达另一处地点；第二种理论就是，这些动物可能是被风、水流或风暴携带到了新的地方。达灵顿对后一种理论坚信不疑，而他的上司，托马斯·巴伯教授则是前一种理论的忠实拥趸。

今天我们当然不会再做这种“青蛙实验”。实际上，这场实验最初源自一场争执。在博物馆一次午后喝咖啡的时候，这两人因为对各自理论的坚持而争执不下。巴伯坚持认为，动物们借助风力进行扩散是不可能的，因为动物从空中掉下来的时候就会被摔死。但达灵顿则认为，对于一些体型较小的生物来说，这种方式是可以将它们运送到较远的距离上

的。于是两人便约定进行楼顶青蛙实验来测试这项理论的正确性。

那么达灵顿的那些“死掉的”青蛙们后来怎样了呢？

就在摔到地上几分钟之后，这些青蛙都慢慢动了起来，然后四散跳走了。很快，整个草地上便到处都是朝着不同方向跳跃的青蛙。达灵顿证明了他的观点。

当然，青蛙们能够承受这样一次摔落毫不奇怪：这种承受能力与它们的体型大小有关。在自由落体过程中，较重的动物在空中的加速要比较轻的动物快得多，原因很简单：重力的大小与物体的质量成正比。作为进化遗传学奠基人之一的霍尔丹[注]曾经这样进行描述这一现象：“你可以把一只小老鼠丢进一个1000码[注]深的矿井，当它落到地面时，它只会受到轻微的冲击，爬起来就能继续走……但如果是一只大老鼠，它就会被摔死；如果是一个人，他会被摔碎；如果是一匹马，它的碎片会撒的到处都是。”

现在，假设要让你预测某种你从未见过的动物能活多久、如何移动以及它的大致外形，你该怎么做呢？有一些参数可能会有用：这种动物所吃食物的种类、它们生活的地域以及它们在食物链上的地位，等等。人们对这一问题的研究，首先是对生物体的各种可测量特征进行归类整理，并运用各种统计工具对这些数据进行校正，试图从中找出哪些参数对应我们所看到的生物体的各种差异。在一次又一次的分析过后，有一个参数逐渐显示出它强大的预言能力——它就是体型大小。知道了一个生物体的体型大小，你就能相当有把握地估算出它的很多生物学特征：它平静时的心率（体型较小的动物心率较高），它对危险的感知（较大的动物较少感到害怕），甚至是平均寿命（较大的动物寿命也较长）。

我们所感知到的世界上的一切，都受到我们体型大小的影响，甚至“大小”这一概念本身也是。我们的瞳孔、眼球和晶状体的大小和形态决定了我们视觉的灵敏度，正如我们耳朵的形态和结构决定了我们能够

听到声音的频率范围。我们的感官系统是按照过去那个由捕食者、猎物和其他部分组成的古老世界来设计的，它就像是一台收音机，仅能接收少数几个频道；世界有很大一部分是对我们隐藏的。超越自身生物学属性对我们的限制，将意味着以一种全新的方式看待我们的体型以及我们自身。

列文虎克一生中的大部分时间是一名布商，他发现自己需要一块放大镜来帮助查看布料的质量。他对玻璃的性质产生了浓厚的兴趣，并研制出一种新型的镜片。这种镜片能够将物体放大很多倍，放大能力远远超过同时代的类似工具。列文虎克不断调整镜片的形状，使它能够观察更加微小的物体，最终他实现了大约200倍的放大倍率。每一块新镜片的制成，都让他得以探索一个全新的世界。

众所周知的是，列文虎克对自己如何制作这些镜片始终严加保密。几个世纪以来，人们一直猜想他是采用打磨的方法将玻璃制成精度更高的镜片的。但在1957年，一名为《科学美国人》撰稿的科学作家对列文虎克的商业秘密提出了新的猜测。他认为，列文虎克可能是通过烧热玻璃棒并将其拉断来制作镜片的。在玻璃棒被拉断的一端再次加热，其顶部就会形成一个小玻璃球。将这个小小的玻璃球从玻璃棒上取下后，列文虎克便将其放置于一个巧妙的装置中，这个装置可以同时固定样品和镜片，使其保持一定的距离。透过玻璃球进行观察的效果可以帮助他评估这个玻璃球的放大效果：弯曲的玻璃便成为了镜片。

任何东西都是列文虎克显微镜下的观测对象。在一次著名的实验中，他将一小块取自一位老绅士嘴里的牙菌斑放在显微镜下观察。在其中，他观察到“一个让人难以置信的巨大微生物群落，它们到处游动，比我迄今所见的任何东西都更为敏捷……另外，其他微生物的数量也极大，整口唾液……几乎都是活的”。这是已知对于细菌最早的描述之一。列文虎克还观察了池塘中的水体并发现其中充满生命——从藻类到微生物，后来他还发现了人类精液中含有微小的蝌蚪状生物体。

人们蜂拥至列文虎克在荷兰代夫特[注]住处的陈列室，争相目睹这些奇景。在那里，这些人成为了第一批目睹一个崭新世界的人类。数千年以来，人类的知识被限制在一个只能用自身的生物感官听见、触摸并看见的宇宙里。通过超越我们自身的生物学属性，列文虎克揭示了这样一个事实：我们都是一群巨大的生物，生活在一个充满无数微生物的世界里。



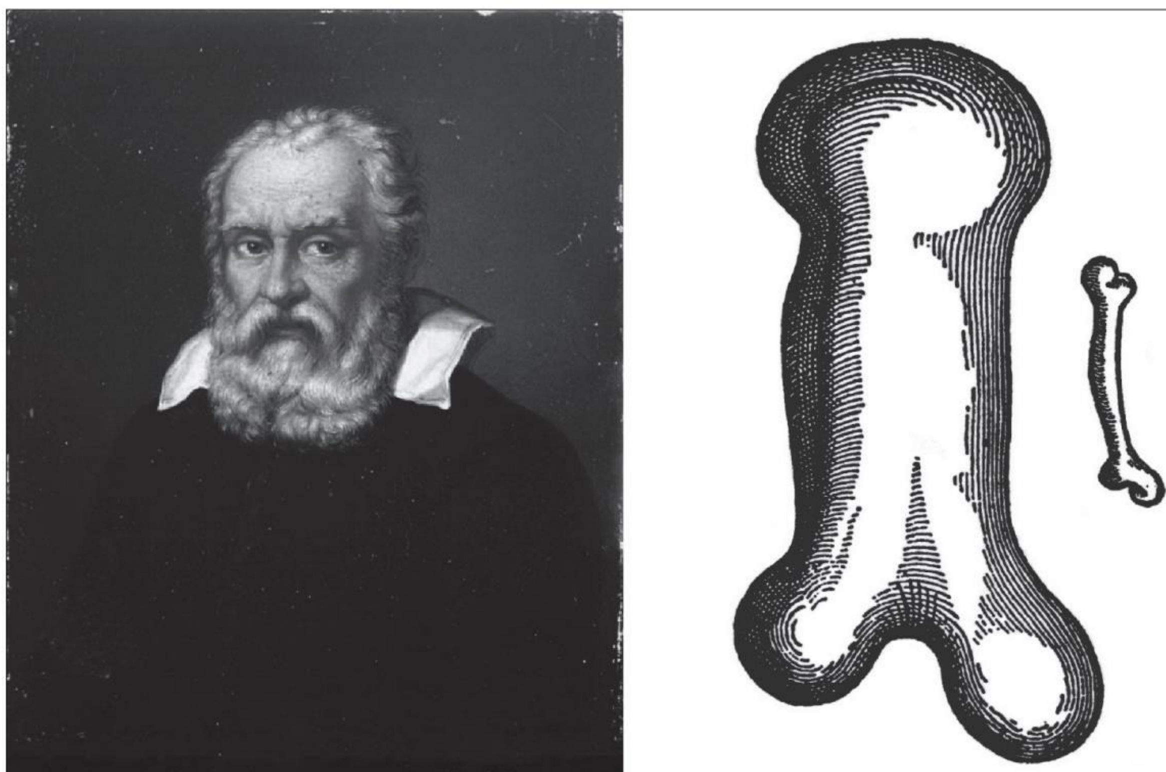
5-2 列文虎克

就在列文虎克利用显微镜做出那些发现的几十年前，伽利略正做着完全相反的事：打磨玻璃制造一台望远镜。他制成了当时最强大的望远镜，其观测能力大致相当于我们今天在户外用品商店里能看到的口径较大的双筒镜。利用这台望远镜，伽利略发现了金星的相位变化，木星有卫星围绕运行，以及夜空中存在很多巨大的星云。

列文虎克低头在显微镜中看到了一个微观的世界。伽利略抬头观察天空，目睹了一个广袤的宇宙，那里有巨大的行星和遥远的空间。在列文虎克的世界里，我们为眼前和体内微生物的多样性折服；而在伽利略的世界里，我们为周围和头顶这个世界的广大而心生敬畏。这种新的谦

逊之心从何而来？它来自我们使用玻璃的新方式。

大约在1633年，也就是在伽利略制造了望远镜并描述太阳系天体的运行的20多年后，他被宣布为异教徒并被判处终身监禁。由于伽利略当时已是70岁高龄，因此被判在家软禁，一开始是在锡耶纳(注)，后来是在他的家乡佛罗伦萨。在被监禁的这段时间里，伽利略花了大约5年的时间撰写有关物理学的著作。由于他的作品被禁止在意大利出版，因此一名荷兰的出版商路易斯·埃兹维尔（Louis Elzevir）私下将他的手稿带往了其他国家。



5-3 伽利略和他所作的大象与老鼠的腿骨对比图

伽利略的书稿与我们今天所见的科学作品全然不同，它由在三个人之间进行的有关宇宙本质的虚构对话组成。他们的对话体现了应用于现实世界的数学之美。

在对话的第二天，三位参与者探讨了决定物体形状的因素。当一个

物体变大时会发生什么？较小的物体与较大的物体之间存在何种不同？以树木为例：较矮的树可以拥有相对纤细的树干，但较高的树就完全不同了。假设木材的性质都是一样的，那么较高的树将需要更粗的树干以保护自己免受弯曲或折断。我们身边的世界很大程度上被这种大小与形状之间的简单关系左右着。伽利略在著作中附了一幅大腿骨的插图来说明这一点。从很多方面来看，老鼠的大腿骨和大象的大腿骨是很相似的：两者拥有相同的关节，也都由骨骼构成。但大象的腿骨要比老鼠的腿骨长得多也粗壮得多。和树干的情况一样，更大的体型必须相应新的形状。这个适用于恐龙和大象的规律，也同样适用于桥梁与建筑。而它之所以会成立，就像伽利略认识到的那样，是由于较大的个体必须应对更大的重力。

伽利略认为，统治着天体运行轨道的引力同样也对动物和植物体产生作用。物体按照其质量的大小被引力拉向地球。较重的生物体受到的拖拽力相对更大，因此它们就需要改变自身的形状来支撑自己。这种关系甚至可以解释达灵顿的屋顶青蛙实验。出于同样的原因，相比较大的动物来说，较小的动物在掉落的过程中加速程度更小。对于像我们这样的大型生物而言，重力就是一切。

然而对于那些生活在列文虎克的微观世界中的微生物们而言，重力却显得无关紧要。只要看看停在墙壁上的苍蝇或蚂蚁就能了解这一点。对于苍蝇而言，地球引力对其身体的拖拽作用可以忽略不计，真正重要的力是分子间的引力。一只苍蝇之所以能够停在墙壁上，是因为这种微小的分子间引力对于很轻的动物们而言，要比重力的影响大得多。想象一下让一只河马站在墙上会发生什么？重力的影响会远远超过它的脚与墙壁之间分子间引力的影响。没有任何分子“维克罗”[注]可以将一头河马粘在屋子的墙壁上。

作为一种体型较大的生物，我们在日常生活中几乎不会去考虑分子间引力的影响。我们在水里游泳，只会感觉水要比空气更粘稠一些。但

如果我们是小的生物，比如一只体长不超过1/4英寸（约0.6厘米）的小虫，那么这些分子间引力将会主宰我们的生活：在水里游泳会感觉像是在果冻里游泳。水面也将具有新的含义：以我们的质量，可以轻易下潜到游泳池的底部；而由于液体表面的分子作用力，一只小虫将可以在水面上行走。

1968年，温特[注]在《美国科学家》[注]上发表了一篇经典论文，探讨了人类体型大小的意义。在文中，他问了一个听上去有些荒唐的问题：一只蚂蚁能像人那样开始一天的工作生活吗？首先要讲明白一点，温特并不是疯子；他是一种关键植物激素的发现者，美国国家科学院院士，加州理工学院教授，后来还成为密苏里州植物园园长——总之他是一位科学巨匠。对于他提出的这个问题，答案显而易见是否定的。但在这个答案的背后，隐藏着很多深刻的生物学原理。温特指出，出门前洗个淋浴对于蚂蚁来说是不可想象的，落下的水滴对蚂蚁而言就像是一颗颗炮弹。早上抽根烟也是不可能做到的[注]，受控火焰的最小有效尺度也与一只蚂蚁的身体大小相接近。而与妻子孩子说再见的方式也会非常不同，只有较大的生物才能听到较低沉的音调，即低频的空气震动。甚至能否完成工作这件事本身也依赖于体型的大小，思考、预测和记忆等大脑能力的发展，要求一定体围的支持。这个关于蚂蚁的故事非常清楚地说明了一点：我们的很多能力——说话、使用工具、设计机器、控制火焰等，都是由于我们适宜的体型才成为可能。体型的大小决定了我们这个物种所拥有的机会。

在10多亿年前，我们的祖先从列文虎克的微观世界转入伽利略的世界，并在此过程中获得了新的可能性：他们离开了那个由分子作用力所统治的世界，进入了一个由重力统治的世界。过往的这一伟大时刻被记录在我们的细胞里、深埋在岩石之中，在我们衰老死亡的过程中亦有体现。

在空中

岩层中那些盘状、丝带状还有叶片状的化石，看上去平淡无奇。但它们的外表欺骗了你。这些化石代表着真正的变革，是世界上从未有过的一类崭新生物——它们是世界上第一批拥有躯干的多细胞生物。

躯干的出现永远地改变了这颗行星。一个单细胞只能长到一定大小，因为受物理定律的限制，分子只能在较短的距离上扩散。这种限制决定了生物如何进食、如何呼吸甚至如何繁殖。较小的动物依靠简单的扩散作用便可以实现氧气在体内的输送。而一旦动物的体型变大，它们就将需要新的机制来实现营养和废物的输送。它们要如何应对这一问题呢？大型动物拥有专门的系统来实现血液的循环、输运废弃物以及氧气的吸收与传送。心脏、鳃和肺都是大型动物体内的必要发明。由于需要这么多种器官、组织和细胞来维持生命，大体型的动物要比最小的动物复杂得多。正是这种复杂性让体型更大的动物变得可能，并最终造就了一个崭新的世界——如同那只假想中的蚂蚁在开始它一天的工作时将会意识到的那样。

躯干的出现或许会在化石记录中留下令人印象深刻的印记，但如果目前活着的生物基因组中同样隐藏着某些线索，那么这种变化一定已经持续了很长时间。地球历史的最初25亿年是完全没有大型生物的；然后在约10亿年前，古老的海洋中出现了不止一种拥有躯干的物种，其中包括植物、真菌还有动物，等等。生物体躯干的出现并非魔术般的事件。让躯干结构成为可能的分子工具箱——蛋白质、脂类以及其他帮助细胞之间相互结合与沟通的大分子，并非是拥有躯干的生物体的独有特征。基础早已打下，就存在于微小的单细胞生命体之中——它们借助同样的分子实现觅食、运动甚至相互之间的交流。构建大型生物所需的生物学机制早已存在于这颗星球之上，比这类生物出现的时间早了数十亿年。

究竟是什么打开了洪水的闸门，让构建大型生物的潜在可能性变成

了真正的现实？要寻找这一问题的答案，我们还要回到那些包含铁矿的岩层中去。

普里斯特·厄塞尔-克劳德[注]身高5英尺6英寸（约1.67米），看上去结实精干。他是战后整个古生物学领域的权威人物之一。高中毕业之后，带着对旅行和户外活动的激情，克劳德在海军服役了3年，并在那里成为了美国海军太平洋侦查舰队的最轻量级拳击冠军。大萧条时期，克劳德选择了去学校读书，他在学术上节节攀升，最后担任了美国联邦地质调查局的首席古生物学家。他的野外工作风格严谨、一丝不苟，深得下属们的尊敬。对岩层进行勘察时，他常常会将整个身体趴在上面，眼睛距离那些岩层只有几英寸。在一次野外考察中，克劳德在得克萨斯州的一片刺柏丛中爬行，突然与一条响尾蛇碰了个正着，四目相对，相互之间的距离只有几英寸。当时跟他一起进行野外工作的同事们说："普里斯特可不是那么容易被吓住的，在相互对视了几分钟之后，那条响尾蛇爬走了。"

克劳德有一项特殊的才能，他能在对岩层的细致观察中看到一幅全球的图景。在他的眼中，地球是一个相互关联的巨大体系：生命的历史与气候、海洋以及大陆的演变构成了一个统一的整体。如果由对铁矿的搜寻引出了对古老生命的发现，那么这些铁矿本身也将引出对它们与这颗星球之间的关系的理解。

富含铁矿的岩层出现在每一块大陆上年龄约在20亿年左右的地层中。无论是在澳大利亚、北美还是非洲，它们一般都呈现出一种精细排列的带有红褐色调的条带或分层。每一个曾将沾了水的工具丢在车库里的人都知道，这种颜色是铁发生化学反应的指示。当空气中的氧气让铁生锈时，后者就会显示出红褐色。

在地球最古老的地层中，铁锈是不存在的。大约45亿年前，当地球形成时，其大气中最主要的气体来源是地球本身。火山活动会释放出各

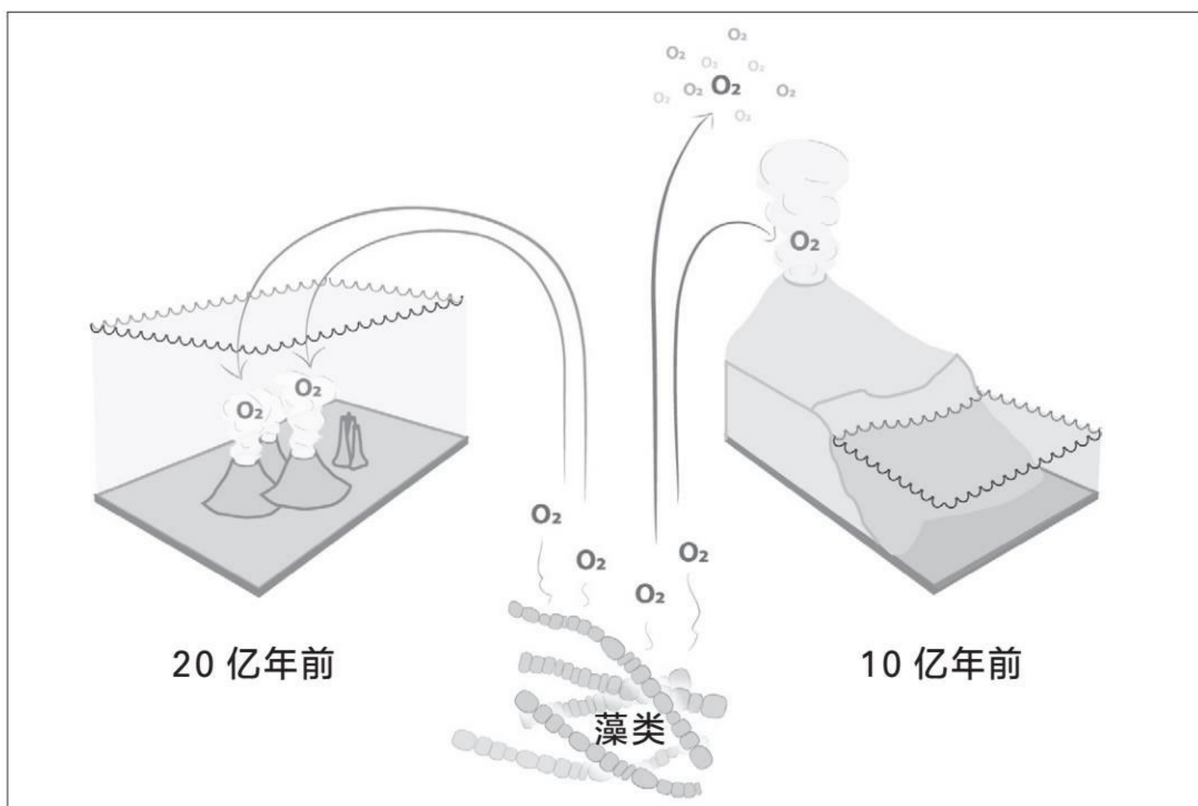


5-4 普里斯特·克劳德

种气体，但其中极少有氧气。即使我们现在站在珠穆朗玛峰的峰顶呼吸，也要比在这样一个古代地球上更加顺畅。但出现在更年轻地层中的铁锈提示了一种转变：地球大气中的氧气开始增加了。

大气中的氧气含量取决于产氧与耗氧两者之间平衡的结果。就像一个同时开着水龙头和排水口的浴缸，其中水位的高低将取决于进水和出水的速度。

有关古代地球大气中氧气来源的线索来自于古代生物体本身。在这个贫氧世界中发现的大部分单细胞生物，都拥有一项非常重要的共同特征。根据与它们关系最近的近亲物种来判断，它们都会通过光合作用将周围环境中的化学物质转变为能量。进行光合作用的生物借助来自太阳光的能量来为自己的身体提供可用的能量。它们并不使用氧气，而是产生氧气。改变地球的氧气的唯一可能来源，也正是我们今天唯一所知的来源——进行光合作用的生物。今天这种生物体包括含植物和微生物在内的许多种生物，但在数十亿年前，就只有一种。我们在泰勒和巴洪显微镜下的岩石切片中看到了它们。它们拥有细胞壁以及独特的、有着各种典型形态的群落——从小小的团块到大型的菌菇状的集合体——这就是藻类。数亿年来，藻类安静地制造着氧气，从而让地球上的其他生物得以呼吸。



5-5 氧气的含量取决于生产（藻类）与消耗（与岩石、水以及气体之间的化学反应）之间的平衡

如果藻类是早期地球大气中氧气的来源，那么氧气消耗的机制又是什么呢？大气中的某些分子会与自由氧结合形成其他化合物，从而消耗氧气；海底的火山喷发会释放出大量气体，这些气体一般是还原态的，它们也消耗氧气；其他与岩石、水体以及空气成分之间的反应也会造成氧气的损耗。解释大气中氧气含量上升的一个理论认为，在大约20亿年前，即大气中氧气含量开始上升的时期，地球上发生了显著的地理变动：全球海洋减少，释放还原气体的海底火山数量同样出现下降。随着藻类不断地释放氧气，与此同时氧气的消耗机制也在不断变少，大气中的氧气总含量便开始增长。

克劳德将不同的观察结果——铁矿条带、释放氧气的藻类，以及大型生物体的起源——全部结合了起来。

他的这种整体性观点受到了来自氧原子本身结构的启发。氧原子永远在渴求电子，因为在它的最外层电子层上缺失了两个电子。我们人类以及所有好氧生物[注]的细胞的“能量站”——线粒体——在制造能量的过程中，都利用了氧的这一特性。一些新陈代谢过程，如呼吸，都有着将电子从一个分子传到另一个分子的精细复杂的传递机制。在电子传递过程的每个环节中，能量或是被以一种新的形式储存起来，或是被释放出去。环境中自由氧的含量越高，生物体可以利用的“燃料”便越多。

克劳德也知道，拥有大的体型需要消耗能量。那些构建了我们身体很大一部分的蛋白质，如胶原蛋白，需要相对较多的能量才能形成并维持。躯体的生长和维系需要一种新的、更高水平的能量学。

有关这一问题的线索，来自于生理学领域的一位先驱在1919年进行的一项观察。奥古斯特·克罗格[注]对掌控动物生理现象的物理学与化学机制非常着迷。他发现了水的性质与生活在其中的生物之间的关联性。在简单的海洋生物中，那些没有精细的体内循环或消化系统的生物，它们的体型会受到水体中氧气含量的限制。在氧气含量受限的环境中，大体型从生理学上来说几乎是不可能的，因此这些生物的体型都非常微小。随着氧气含量的上升，生物体的体型也能变得更大。

普里斯特·克劳德看到，氧气含量的上升以及它所带来的新的能量环境，为当时的古代生物创造了新的可能性。氧气打开了大型生物出现的闸门：它助推了一场转变——从分子间作用力占主导地位的微生物世界，转变为一个拥有更大体型和新类型躯干的生物的世界。

但氧气也创造了一个全新的危险世界。

每一项改变都是双刃剑。让氧气成为高效产能剂的化学特征，同样也可以让它变成毒物。氧原子会从其他原子那里接收电子，并在形成新化合物的过程中释放出能量。而一旦不受抑制，这些分子就会对细胞造成破坏并损害DNA。很多有关疾病与衰老的理论都是基于氧气的这种性

质。当你服用一些抗氧化剂比如维生素C时，你便是在与这些含氧分子造成的影响作斗争。

作为生活在富氧环境下的大体型生物，还要面对一个更深层的挑战。人体是由无数的部分——2万亿个细胞，3万个基因——组成并作为一个整体运行的：器官、组织和基因共同运作，确保每个个体的完整性。在这个庞大的系统中，不同部分之间的平衡是由不同细胞相互之间的连接与沟通方式，以及与细胞间分子的相互作用所决定的。当我们处于健康状态时，我们身体的每个器官都“知道”自己该如何运行；它的细胞不断分裂然后死亡，但整体上仍然保持相同的大小和形状。我们的两个眼睛大小一致，每个拇指和脚趾也是一样。我们的脾脏和肝脏有它们相应的大小。这种精细的平衡，对于作为多细胞生物体的我们来说是非常必要的。

对这种平衡的深入认识，来自于那些变异的果蝇：约翰·霍普金斯大学实验室的科学家们注意到，他们饲养的果蝇中，有一些个体的眼睛相对它们的头来说显然太大了——比正常水平大了5倍。作为遗传学家，这些人最擅长的就是基因分析。他们分离出了有关基因的DNA并追踪其分子活动，结果发现，它存在于一条分子反应链中，而这条反应链的作用是告诉细胞停止生长。通过减缓细胞分裂的速度，或是调节其凋亡的速度来实现对生长的控制，是维持大型生物体内部“和谐”状态的精髓。

利用他们在果蝇基因结构方面的知识，霍普金斯大学的研究组成功地将其追溯到了老鼠和人体内。他们不光找到了哺乳动物基因组内的同种基因，还观察到了使器官大小发生改变的突变。不管是在果蝇、老鼠还是人的体内，这一基因的运作方式都是相似的，即作为分子反应链的一环，控制着不同部分之间的平衡。在老鼠体内，该基因的变异可能会导致比正常情况下大5倍的肝脏。

但这一基因的变异还会导致另外一个后果：癌症。当细胞失去控

制，未能适时停止分裂或凋亡，就会形成肿瘤。因此，决定了我们身体生长的基因，同时也构成了毁灭它的基础。

普里斯特·克劳德和后来的研究者们看到了生命系统与行星系统之间的和谐。生命与它们所生活的行星之间的相互作用，导致了大气中氧气含量的上升。而氧气则促发了大型多细胞生物体的出现，继而改变了这个世界。生命改变了地球，地球也改变了生命，而今天行走在这颗行星之上的我们，便是这些改变的结晶。

---

1. 埃尔索·巴洪（Elso Sterrenberg Barghoorn，1915~1984）：哈佛大学古植物学家，前寒武纪古植物学之父。
2. 托马斯·巴伯（Thomas Barbour，1884~1946）：美国爬虫学家。1927~1946年间担任哈佛大学比较动物学博物馆馆长。
3. 菲利普·达灵顿（Philip Darlington，1904~1983）：美国动物地理学家。
4. 霍尔丹（J.B.S. Haldane，1892~1964）：英国裔印度籍进化遗传学家。
5. 码（yard）：英国长度单位，1码=0.9144米。
6. 列文虎克（Anton van Leeuwenhoek，1632~1723）：荷兰科学家，显微镜发明者，微生物研究的开拓者。
7. 《科学美国人》（Scientific American）：知名的美国科普杂志，创立于1845年，具有重要的国际影响力。
8. 牙菌斑：粘附于牙面或牙间的软而未矿化的细菌性群体，是难以通过漱洗去除的一种细菌性生物膜。
9. 代夫特（Delft）：荷兰小城。
10. 锡耶纳（Siena）：意大利小城，位于佛罗伦萨以南大约50公里。
11. 维克罗（Velcro）：衣服上常用的搭扣件，分公母两面，一面是柔软细毛纤维，另一面则遍布小毛抓。
12. 温特（Frits Warmolt Went，1903~1990）：荷兰生物学家，他在1928年的著名实验中证明植物生长素的存在。
13. 《美国科学家》（American Scientist）：一份由美国科学研究协会（Sigma Xi）出版的科学与工程杂志，1913年创刊。
14. 原文在此处用括号指出："当然温特的文章是写在公共卫生署长的报告之前的，那份报告在很大程度上影响了我们的行为。"这里所说的报告应该是指美国公共卫生署有关吸

烟危害的一系列报告，可以在以下网址查阅：
http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/sgr/index.htm

15. 普里斯特·厄塞尔-克劳德（Preston Ercelle Cloud Jr.，1912~1991）：美国古生物学家。

16. 好氧生物：是指生活在氧气环境中的生物，包括植物和动物。与厌氧生物相对。

17. 奥古斯特·克罗格（Schack August Steenberg Krogh，1874~1949）：丹麦生理学家，因发现骨骼肌内的微血管调控机制而被授予1920年度诺贝尔生理学奖。

第六章
串联线索



5.3亿年前的地球仍然远非我们心目中的家园——在这里你会感觉呼吸困难，就像站在珠穆朗玛峰顶，而且没有携带氧气瓶。尽管大气中的氧气含量在地球历史的早期已经有了显著上升，但到此时仍然只占大气成分的很小一部分。水是生命的诞生地：新出现的软体动物在海洋中游动。相比之下，陆地则一片荒凉：没有任何植物，也没有土壤。如果

在这片奇异的大陆上穿行，你会发现自己可以从今天的纽约一直走到卡萨布兰卡或北京，中途甚至看不到海。[注]

今天的世界是在岩石、空气、水和生命的不断变化中诞生的。但是，正如氧气的故事所揭示的那样，所有这些因素都并非独立存在——地球的历史是这颗行星与其上的生命共同演化的产物。对这些关联所代表意义的深刻理解，以及历史上最伟大的科学变革之一的根基，都始于一项最为平常的工作——绘制地图。地图能够告诉我们自身的位置和世界的模样；当我们将它置于整个地质历史的范围内时，它还能够揭示存在于海洋、山脉以及我们身体器官之间的联系。

为人父母的都知道，孩子会不断地在周围的世界中寻找模式。给一个7岁大小的孩子看一个地球仪，让他们告诉你看到了什么——不是要他们说出那些地点的名字，而是让他们描述不同大陆、岛屿和海洋的形状。几乎无一例外，孩子们会告诉你，地球仪上的某些部分看起来是可以拼在一起的。南美洲的东海岸线和非洲的西海岸线几乎可以完美地拼合在一起。

然而即便是在40年前，这种想法在某些地区仍然被视为完全的异端。当我还是初中生的时候，我的一位老师曾在课堂上为我们讲述20世纪60年代盛传的一些伪科学观念。其中一项是说，埃及的金字塔、秘鲁的纳兹卡岩画以及复活节岛上的巨人雕像，都与定期访问地球的外星人有关。和大多数学生一样，我觉得关于外星人的想法很酷——毕竟电视上也在播这些东西。我的这位老师想说明的是，尽管这些想法听上去很有趣，但它们无法用任何一种有意义的方式证明。他将这些伪科学观念和一个被称作“大陆漂移”的理论相提并论，该理论认为，大陆在历史上曾经发生过移动。这堂课的时间是在1972年，我的老师对那场在120年前便已经开始的伟大变革显然所知甚少。

1856年，威廉·布兰福德与亨利·布兰福德兄弟[注]抵达了印度，开始

在塔尔查煤矿工作。这个煤矿至今仍在开采，为马哈纳迪煤田有限公司所有[注]。在这里工作期间，布兰福德兄弟就像所有优秀的地质学家一样，上下查看这里的岩层，以判断在煤田形成时期前后发生的地质事件。其中一个岩层引起了布兰福德兄弟的注意：它包含许多大而不规则的砾石，其中有些石块的大小甚至与人相当。当他们仔细检查这些砾石的时候，谜团进一步加深了——这些砾石的表面伤痕累累。如果它们是在位于欧洲的阿尔卑斯山脉或北极高纬度地区被发现的，那么这样的伤痕可以解释为巨型冰川运动留下的痕迹。但这里是印度，它们被埋在一个赤道地区的煤层下方——这要怎么理解呢？

这个包含巨型砾石的岩层并不只存在于印度。就在布兰福德兄弟发现它之后不久，在南非工作的地质学家们也发现了相同的岩层组合：一处煤层，以及形状不规则、外部伤痕累累的砾石层。在遥远过去的某一时期，印度和南非存在过冰川活动吗？冰川究竟是如何到达这些地方的呢？

爱德华·修斯[注]出生于伦敦，在全家迁居维也纳之后，他逐渐对理解地球的运作机制产生了浓厚的兴趣。从学校毕业后，修斯不断升迁，不仅成为了学术巨匠，后来还当上了维也纳的市政委员。在那里，修斯将自己的地质学专业知识用于开辟并完善城市引水系统，将周围高山上的新鲜水源引入维也纳城，造福市民。他的这一举措避免了伤寒病的爆发，从而挽救了大批民众的生命——在引水工程实施之前，伤寒经常在这座城市爆发。

1903年，修斯在国际地质学大会上发表了讲话。在演讲中，修斯强调了岩石的重要性。他这样描述地质学家的工作：“地质锤敲击的岩石不是别的，而是这颗行星最近的一段历史……岩石的历史是这颗行星的历史的一部分，而……这颗行星的历史本身，则只是那宏大壮丽、不断变化着的宇宙历史的一小部分。”在修斯看来，只要正确解读，每一块岩石都是我们窥视遥远过去时空的窗口。



6–1 舌羊齿

在这样一种哲学的指导下，岩石和化石具有了新的意义。在饮水工程开始的大约10年前，修斯对一种有着像牛舌一样形状叶片的神秘化石产生了浓厚的兴趣。这种被称作“舌羊齿”的植物是一个令人费解的谜。和一般的大型植物化石一样，完整的舌羊齿几乎从未被发现过；科学家们只能根据零散的叶片、枝杈、根或树干来尝试重建这种植物。这有点像是用数量不全的拼块来完成一个三维立体拼图。在修斯的年代，科学家们已经注意到了舌羊齿的不同寻常之处：其内部具有松软的木质结构，这与针叶树或是蕨类植物很像；但它又长有包裹种子的器官，这与前两者均不同。根据枝杈和叶片的相对大小来判断，舌羊齿可以长到90英尺（约合27.5米）高，其整体形态可能是下宽上窄的锥形，有点像圣诞树。

修斯注意到，关于舌羊齿，最让人吃惊的地方并非是它奇怪的叶子，而是它所埋藏的地层。循着舌羊齿化石埋藏的地层，他从南非一路追踪到了印度，再到澳大利亚乃至南美洲。对于修斯来说，舌羊齿化石

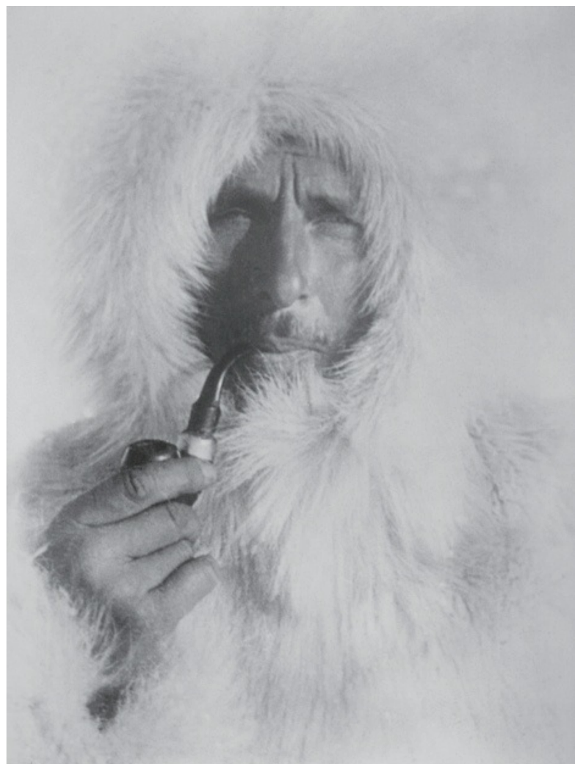
的这种分布特性说明了一件事：在遥远的过去，这些相互分离的大陆曾经是一个整体。在他看来，所有的大陆曾经都是连在一起的，直到海平面上升将它们分开。

有关舌羊齿的故事中既有发现，也有悲剧。1912年，罗伯特·费尔康·斯科特[注]和其他四名队员进行了一次悲壮的南极远征。当他们历经艰险终于抵达南极点时，才发现挪威探险家罗纳德·阿蒙森[注]在几个月之前便已率先到达了那里。当时的照片记录下了这支探险队的窘况。从照片上看，长途跋涉后的队员们显然已经精疲力竭，他们脸上的表情流露出疲惫和失望，身后的背景则是挪威人的国旗和帐篷。斯科特在日记中记下了考察队拖着沉重的雪橇踏上回程之路的艰难。随着身体日渐衰弱，他们肩上的负担渐渐成为不可承受之重。在1912年3月，斯科特、亨利·鲍尔斯[注]和爱德华·威尔森[注]死在了他们的帐篷中。直到8个月之后冬天结束时，人们才找到他们的遗体。在他们的遗体旁，放着35磅（约15.8公斤）重的岩石和化石样品。当这些样品被交到大英博物馆的专家手里时，它们的重要性显现了出来。斯科特的考察队在南极比尔德摩尔冰川[注]底部发现了舌羊齿的化石，那里距离南极点仅有大约100英里。修斯并不知道这个消息，但这意味着，南极洲大陆同样应当是他设想中的“南方大陆”的一部分。

隐藏在这些砾石、化石和大陆曲折海岸线之中的深层意义，浮现在了一位德国气象学家的脑海之中。阿尔弗雷德·魏格纳平生有两大科学兴趣：格陵兰冰原地区上空的气候模式和地球上的海陆分布。他的科学生涯开始于1911年，当时他参加了最早一批远征格陵兰岛的考察活动，其中包括一次徒步穿越整片冰原的行动。他的生命就终结在这个岛屿上——在1930年的一次探险中，他在营救受困的队友时死在了这片茫茫冰原上。

魏格纳提出，不同的大陆在遥远的过去曾经是一整个连起来的超级大陆。随着时间的推移，不同的大陆开始漂移、分裂，最终形成我们今

天所见到的海洋和大陆分布格局。这块超级大陆的分裂始于南方和北方两块大陆的分离。其中的南方大陆范围包括今天的非洲、南美洲、澳大利亚、印度以及南极洲。


6–2 阿尔弗雷德·魏格纳

这一简单的设想可以解答很多问题：为何南方各大陆上的植物显示出某种特殊的相似性？——因为在分裂发生之前，它们最初都属于同一个大陆；为何位于热带的印度会有冰川？——因为印度并非一直位于热带，它是从历史上接近南极的位置逐渐漂移过来的。最后，为何全球各大陆的海岸线好像是拼图游戏？——因为在很久很久之前，它们原本就是拼合在一起的。

对于魏格纳的这个大统一理论，科学界又是什么反应呢？那些在南方大陆以及欧洲工作的地质学家们对舌羊齿非常熟悉，并且对非洲、印度以及南美洲在地质学上的相似性比较了解，因此他们比较容易接受魏格纳的观点。相比之下，北美地区对这种理论的接受程度则完全不同。我的一位芝加哥大学的前辈在1920年曾进行过这样的总结："魏格纳的假说总的来说给人一种很随意的感觉，对全球的状况任意揣测；与其他竞争理论相比，这一假说对那些对其不利的、令人难堪的事实考虑不足。"

魏格纳理论的反对者们也承认，各个大陆的海岸线看起来是很像拼图游戏，但他们认为，这种相似性更多是出于巧合，并不具有实际意义。他们想不出有什么动力可以让大陆移动。大陆是否曾像一艘破冰船那样压碎冰层和海底岩石，在海洋地壳中前行？没有任何科学证据支持

这种观点。事实上，当时我们所知的所有有关海底的知识都指向相反的结论：洋底似乎是地球上最平静、最了无生气的地方。

当然，在20世纪初期，地球的大部分情况还仍然是完全的谜团。地球上超过70%的表面积被海洋覆盖着，在魏格纳的时代，我们对地球的了解还不及对于月球表面。

大洋深处

因为珍珠港事件，1941年12月7日成了一个背负恶名的日子[注]，但这一天对于我们理解地球这颗行星来说，却有着深远的影响。哈里·赫斯（Harry Hess）当时是普林斯顿大学一名年轻的地质学家，他作为海军预备役人员被征召入伍，乘船从普林斯顿前往纽约，于12月8日到当地的征兵站报道。当抵达位于教堂街（Church Street）的总部时，他被问道："你是否知道什么是经纬度？"征兵站的面试官们不知道，就在几年前，赫斯还在海上开展对海底地形的测绘工作。赫斯的回答很可能让面试官极为满意，因为他被提拔担任了美国海军运输舰"USS约翰森角"（Cape Johnson）号上的导航与执行官职位。"约翰森角"号原是一艘海洋运输船，被转用于军事运输。它被派往南太平洋，并相继参与了关岛和硫磺岛的战斗。而在这些战斗期间，曾是地质学家的赫斯，脑海中还计划了另外一项任务。

在"约翰森角"号上搭载有一台名为回声探测仪的设备，这是一种用于测量途经洋底深度的简单声呐。这种设备的现代版本已经能够做的非常小，一条独木小舟就可以放得下——比如说鱼群探测器。但在二战期间，这种设备的体积就像一台小冰箱，用缆绳拖在船的后面。赫斯找到了一种在战争期间开展科学研究的省力方法：在"约翰森角"号执行军事任务期间，一直开着回声探测仪。


6-3 执勤中的哈里·赫斯

这样做并不会让美国政府多花什么钱，但它对赫斯的思想却产生了深远的影响。赫斯发现，在海床上存在许多平顶的小山。在战争结束15年之后，这些小小的平顶山将会对科学的发展产生巨大的影响——当赫斯听说了另一个人所做的工作时，灵感的火花随即被点燃，而这个人的生活也因为珍珠港而被彻底改变。

20世纪30年代，当玛丽·萨普(注)被俄亥俄大学亚森斯分校录取时，她完全没想过要成为一名地质学家。她原本打算遵从当时社会上对妇女设定的“正统”路线成为一名教师或是护士，然而这两份职业似乎都不太适合她——因为怕血，她离开了护士专业，转而学习教育学。但教育学的课程同样难以让她提起兴趣。在12月7日这天，她的机会到来了——由于数以百万计的男人们被派往抗击轴心国的战场，他们原先的工作岗位出现了严重的人手不足。密歇根大学地质学系决定打破传统惯例，允许招收女学生学习地质学。由于地质系提供的奖学金看起来非常有吸引力，萨普就开始了她地质学专业的学习。

到了20世纪40年代末，萨普拿到了地质学的学位，前往纽约找工作。她找到的第一份工作，是在美国自然历史博物馆的古生物学部门，但这份工作似乎让她不太满意。她向一名古生物学家询问一个职位的工作，这个职位的主要职责是帮助整理和处理化石，以便开展研究和展示工作。这位古生物学家告诉她说，他们一般要花费长达两年的时间，才能从这些岩石中发现并取出化石。听到这些，萨普的心都凉了。她后来说，自己“无法想象花费那么长的时间，就为了弄这些东西”。然而古生

物学界的损失，成为了地质学界的幸运：萨普去了哥伦比亚大学，和那里一个地质学家小组的负责人碰面，这个人就是莫瑞斯·伊文[注]。

莫瑞斯·伊文是一个得克萨斯州的大个子，当时他正领导开展海洋测绘工作。在从二战到冷战的转变期间，有一件事始终没变：潜艇需要了解海底的地形。美国海军研究办公室试图解决这个问题，他们的做法便是：资助前往全球各地的远洋勘察工作，以测量洋底的深度与结构。伊文整整一年的时间都在不断地派船出海，并采集岩芯样品、深度测量数据以及其他有关洋底的信息。面对海量的数据，他需要一个人来负责整理并分析它们。他先是聘用了萨普，接着又找来一个艾奥瓦州人布鲁斯·希森[注]来指导她并负责整个测绘项目。希森很快步步高升，成为了哥伦比亚大学的教授，而萨普则一直是他的助手。

那是地质学的黄金时期。每个月，伊文派出的考察船都会从那些从未被考察过的海域带回大量新数据。萨普和希森分析了由伊文的考察队带回的大量数据。两人努力地工作并变得非常亲密，但这种关系外人很难完全理解。希森是一个已婚男人，但他常常会在萨普位于实验室附近的家里招待自己的学生或同事。有时候他们会发生争吵，希森会把萨普的画丢进垃圾堆里，大声的叫骂声会打破大厅平日里的宁静。但在其他时间，这两人会表现得像一个团队，在实验室内部的政治斗争中互相维护——当时这种内部争斗也是实验室环境的一部分。这两人一直走得很近，据各方面说，萨普和希森之间保持着一种热烈但纯属柏拉图式的关系。



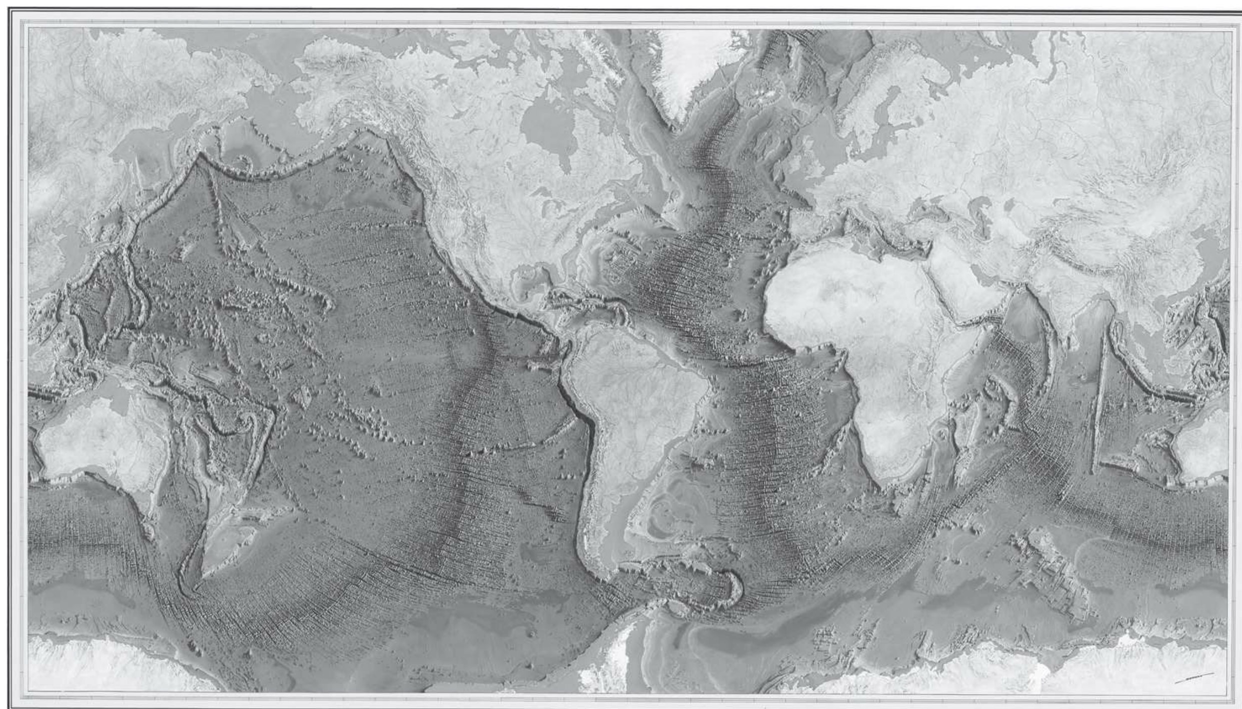
6–4 玛丽·萨普和布鲁斯·希森在一起

一天，在花费漫长的时间整理由考察船带回的海洋深度数据后，萨普注意到，在大西洋底存在着由一系列海底山脉组成的高约1英里的山脊，沿着大西洋的海底延伸。虽然在此之前便有确凿的证据表明，在这片海底存在着这样的山脊，但萨普一路追踪这条山脉的走向，发现它竟然延伸超过4万英里（约6.4万公里），涉及的范围几乎涵盖了地球上的每一个海洋。随后，萨普细致地查看了这条海底山脊本身的结构，她发现，这条山脊每个区域的顶端似乎都存在一条类似巨大峡谷的凹陷带。而这个峡谷两侧的岩壁则似乎是对称的。萨普本能地意识到了这种结构的含义：随着这些洋底裂谷的扩张，地球正在这里裂开。在她看来，这表明海底正在扩张。萨普兴奋极了，她赶紧将这个想法告诉了希森。

然而希森讨厌萨普的这种想法，并将它称为“女孩子家的傻话”。和萨普一样，希森也立即意识到了这一发现的意义。但在希森看来，萨普发现的位于洋底中部的裂谷“看起来太像是大陆漂移了”——如果海洋的

中部在开裂，那么就意味着大陆之间正在分离，而这也就意味着，魏格纳的理论是正确的。希森不能容忍这种想法。

但萨普的发现并未就此结束，事实上，她在图上标记的数据越多，那道洋底山脊的轮廓便愈发清晰。接下来的几个月中，大量新数据的到来逐渐动摇了希森的抵制。他不但开始公开支持萨普的理论，甚至还提出了一项更加雄心勃勃的计划——对全球的海底进行测绘。



6-5 萨普与希森绘制的洋底地形图，可以看到大洋中央绵延的巨大山脊

大约就在这个时期，美国电话电报公司（AT&T）发现，他们跨越大西洋的电缆总是频繁地发生断裂。他们与伊文的实验室签订了一份合同来调查这件事。伊文小组采集的地震数据被更加精准地在地图上描绘了出来，希森、萨普和整个研究组从中发现了一个惊人的模式：海洋中地震发生的点连成了一条规则的条带，而非随机地分布于海洋之中，并且这些地震都发生在萨普所发现的洋底山脊的中央裂谷位置。突然之间，人们开始对萨普发现的这道裂谷产生浓厚的兴趣。

“女孩子家的傻话”成了1957年希森在普林斯顿大学地质系所作的学

术演讲的主题。这次研讨会上来了很多专业的地质学家，其中就有哈里·赫斯，当时的他已经是普林斯顿大学地质系的系主任了。在听了希森有关萨普所发现的洋底山脊裂谷以及其中发生的地震的演讲之后，赫斯站了起来，说道："年轻人，你动摇了地质学的基础。"

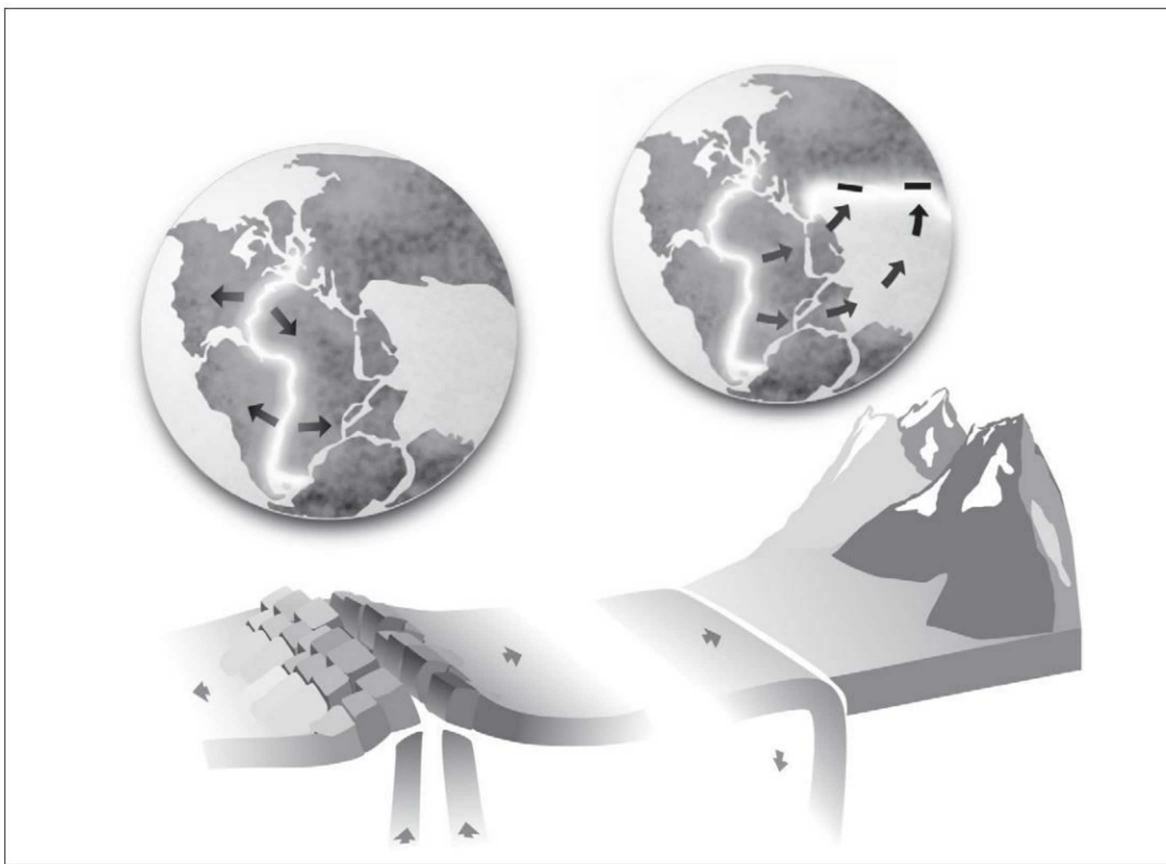
由于二战期间海底测绘的经历，赫斯非常喜欢希森的演讲：他发现的那些海底山与萨普所发现的山脊裂谷有着相似的模式。赫斯所发现的海底山在接近山脊的区域比较高大，而在远离山脊的地方则被侵蚀得比较低矮。对于赫斯来说，这意味着靠近那道山脊的海底山相对而言比较年轻，而较远处的海底山则年代相对较老。另外数据还显示，这道洋底的山脊在不断地开裂，对此唯一的解释便是，这里正在产生新的洋底，海底确实在扩张。

这一时期的地质考察变成了一项国际合作事业，其间充满了有关发现与坚持的故事。一位身高6英尺5英寸（1.95米）的荷兰人连续几周蜷缩在狭窄的微型潜艇里，对海沟进行绘制。来自英国、加拿大、法国、荷兰和日本的科学家们连续几个月待在船上，对海岸线、洋中脊和海沟进行勘察。所有这些考查行动都在呼唤着一种对地球的全新认识。随着新数据从全球各地不断涌入，那些位于深海的海沟开始显露出一种模式：它们也是地震集中的地方，同时往往也是火山和岩浆频繁喷发的区域。

希森的演讲启发了赫斯去构思一种理论来解释这些不同的观察结果。如果在洋中脊果真有新的洋底产生，那么在某个别的地方就一定会有洋底消失，否则地球就会不断地膨胀了。赫斯意识到，海沟区域的震源分布及其他物理特性刚好满足这一要求。于是他提出了一个理论，认为洋底从洋中脊产生出来，并随着海底扩张不断向两侧移动，最终沉入海沟并被毁灭。这样看来，洋底似乎就像一个巨大的传送带。

赫斯将这个想法写成了一篇手稿在同事之间传阅，但他犹豫了两年

之久，一直没有将其发表。他自己将这个想法称为“地质诗话”(注)——这既是对认为这个理论纯属猜测的质疑的一种自嘲，也是赞赏这一理论中隐含的美感。事实上，赫斯的这一想法，如同科学史上的很多想法一样，在之前便有人提出过。这个人就是亚瑟·霍尔姆斯(注)，一位杰出的英国地质学家，同时也是现代岩石测年方法的开拓者之一。他从魏格纳的理论中得到了启发，于1929年通过纯粹的理论途径提出了与赫斯相似的理论。



6–6 “地质诗话”与洋底循环

赫斯的“地质诗话”中所缺少的是海床的年龄数据；受侵蚀的海底山和裂谷还不足以终结长达几乎一个世纪的质疑。20世纪60年代初，赫斯在英国剑桥大学的一次演讲中阐述了他的理论，当时在场的听众中有一位年轻的学生，名叫弗里德里克·维恩。赫斯的理论让维恩非常兴奋，

于是他和他的导师杜拉蒙德·马修斯[注]决心找到一种可以反映海底岩石年龄的指示标志，这样他们就能够对萨普发现的裂谷两侧位置上的洋底年龄进行对比。这两位地质学家想到了一种巧妙的方法，用手边现成的数据就能得到结果——如果洋底的确像一条传送带那样处于扩张之中，那么最年轻的洋底应当最靠近那道裂谷，并且距离裂谷越远，洋底的年龄应当会变得越来越老。另外，在裂谷两侧的同等距离上，洋底的年龄也应当是一致的。维恩和马修斯找到了一个可以标示洋底岩石年龄的标记物，那就是洋底岩石的古地磁特性。通过对这种地磁特征的观察，他们可以得到洋底年龄的分布模式。观察的结果与之前的预期完全一致：较为年轻的洋底比较接近洋中脊，距离越远则越古老，并且洋中脊两侧的洋底年龄是一致的。洋底的确正在扩张，正如赫斯和在他之前的霍尔姆斯所预言的那样。

在维恩与马修斯准备发表他们研究结果的同一时间，加拿大地质调查局的劳伦斯·默里[注]也在整理自己的数据。他先是将自己的研究结果投给了当年八月份的《自然》杂志，但被拒绝了。在1963年，默里又将论文投给了更专业化的《地球物理学研究杂志》（JGR）。几个月之后，他收到了退稿信，随信而来的还有一位匿名审稿人的评语，上面写道：“从野外工作回来的路上，看了你们发来的默里的文章。我想他的观点很有趣，但它可能更适合喝马提尼时的闲聊，而不是出现在《地球物理学研究杂志》上。”这次耽搁让默里损失惨重——就在他接到拒信之后不久，维恩和马修斯的论文刊出了。

维恩和马修斯并未直接去测定洋底的年龄；他们采用的技术太过超前，以至于不得不又经过进一步的完善修订，才让赫斯的理论最终得到普遍认可。仅仅数年之后，这一理论便得到了证实——哥伦比亚大学、斯坦福大学以及位于加州拉约拉的斯克利普斯研究所[注]组织了更多次针对洋底海床的考察。面对这海量的数据、新的理论以及魏格纳的经典见解，美国《时代》杂志在1970年刊登了一篇文章，标题是《地质诗话终成地质史话》。[注]

对于像赫斯和希森这样拥有教授头衔的人来说，伴随这一思想革命而来的是名望和学术成就。但宿敌难消，由于支持大陆漂移的观点，希森和萨普与他们的老上司伊文之间发生了不少口角。在哥伦比亚大学，他俩成了不受欢迎的人。由于希森拥有终生教职，学校不能开除他。但即便如此，伊文仍然有办法折腾他：他剥夺了希森在系里的职权，拆掉了他办公室的门锁，把他的东西丢到大厅地板上，最后干脆直接把他的办公室没收了。而萨普的情况更糟糕，伊文直接把她解雇了。因为没有了办公室，此后一直到整个科学生涯的结束，她都不得不在自己位于纽约奈阿克（Nyack）的家里工作。对于这段在个人生活和科学上都充满动荡的时期，萨普本人是怎么看的呢？希森去世20年之后，在一次哥伦比亚大学的口述历史项目采访中，萨普女士回忆了这段过往，她说："作为一名科学家，我整个职业生涯的大部分时间都是在幕后工作，但我从没有感到不满。我认为我能够找到这样一份有趣的工作非常幸运。我发现了洋中脊和它中央的裂谷，一条在全球绵延超过4万英里的裂谷系统——这是一项重要的发现。这样的发现你只能经历一次。至少在这颗星球上，你再也找不到比这更加宏大的东西了。"

大撕裂

魏格纳的大陆漂移理论解释了地球上各个部分的缓慢移动，而赫斯的"地质诗话"则解释了这些部分之间的深层联系。如果用一个词将这两者结合起来，那就是"板块"（Tectonics）——由它发展出的理论从根本上动摇了我们的世界。20世纪60年代是一个狂暴的时期，音乐和政治上的革命如火如荼。但平心而论，其中影响力最为持久的革命还要数人类看待地球的全新方式。曾经显得毫无头绪的岩石和化石线索一下子变得完全清晰起来了。科学家们兴奋地改写着数百年来的科学教条，而在这场变革的大潮中，有一个人物特别关键，他就是加拿大地质学家，同时也是一名受过训练的物理学家——约翰·图佐-威尔逊[注]。威尔逊的一个

性格特点在这一时期让他受益匪浅。在职业生涯的后期，他总结道：“我一直都很享受惹恼那些科学家们。”

19世纪末，古生物学家们意识到，北美洲和欧洲都存在着一些独特的南北走向的巨大山脉。比如美国境内从缅因州一直延伸到北卡罗来纳州的阿巴拉契亚山脉，以及从非洲的摩洛哥一直向北延伸至苏格兰的喀里多尼亚山脉。在苏格兰北部的一处地点，发现了与阿巴拉契亚山脉中相同的化石；而在阿巴拉契亚山脉的几处地点，也发现了应属于欧洲的化石类型。这些生物是如何跨越大洋的？有人认为它们可能是游泳过去的，但这些化石大部分都是一些贝壳类动物，它们活动的范围非常有限。



6–7 约翰·威尔逊，在他没有去招惹其他科学家时候的样子

在威尔逊看来，基于新的理论，这个问题的答案有点像是一个手里拿着花生酱和果冻三明治玩耍的儿童身上将会发生的事情：如果这个孩子将三明治掰成两半，然后再合到一起，然后再掰开来，会发生什么？溅溢出的果冻和花生酱表明这个三明治曾被合到一起；残留在果冻那一侧的花生酱以及残留在花生酱那一侧的果冻则表明，后来这个三明治又被掰开了。

在威尔逊看来，欧洲、北美以及大西洋之间的关系就像是这个三明治。他提出：在数亿年前，曾经有一个海洋分隔这两块大陆。后来这个海洋闭合，两侧的大陆互相碰撞，产生了一系列的山脉。而当这个大陆再次分裂时，这道山脉也随之被割裂为两个部分，也就是今天我们所说的阿巴拉契亚山脉以及喀里多尼亚山脉。至于那些出现在欧洲的美洲化石，它们原本属于对岸的大陆，当大西洋形成、两块大陆分离的时候，它们被落了下来。

威尔逊及在他之后的许多科学家们发现，我们在学校中学到的这个“世界”，只不过是地质历史长河中一瞬间的定格：在我们之前曾经出现过无数个“世界”，而未来也注定还将出现更多。地球的表面是由一个个不同的板块组成的，每一个板块都包含大陆或海洋，或两者皆有。随着地壳下方的对流运动，海底从萨普所发现的洋底裂谷开始不断扩张，并驱动各大板块发生相对运动，而扩张的海底最终沉入海沟消亡。

1984年，在魏格纳死后近半个世纪，美国宇航局（NASA）发布了对大陆漂移的首次直接测量结果。研究人员在全球设立了约20个基站，每个基站都配备有专门设备，可以向装备了反射镜的卫星发射激光。在地面的激光装置附近设有望远镜，用于观察卫星的反射信号。通过测量激光在地面与卫星之间来回所用的时间，美国宇航局可以计算出这两者之间的距离。如果板块发生了移动，那么随着时间的推移，这个距离值会发生变化。借助这项技术，美国宇航局发现，北美和欧洲正以每年1.5厘米的速度相互分开，而澳大利亚则正以大约每年7厘米的速度向夏威夷方向运动。地球上板块的运动速度大致与我们头发的生长速度相当。

相对于我们人类的一生来说，板块的运动非常缓慢，但如果从地质历史的时间尺度上看，那就是巨大的变动。板块之间的“舞步”分为几个主要的阶段。板块相互之间会发生碰撞——当它们相互擦碰，在交会区域就会发生地震，就像在美国加州著名的圣安德烈斯断层[注]所发生的那

样。有些板块相互之间会发生冲撞——当冲撞的双方都是大陆板块时，其结果便是形成新的山脉。青藏高原便是大约4000万年前印度板块与欧亚大陆板块发生冲撞的结果。板块之间同样可以发生分离——假如出于某种原因，在洋底发生了地幔对流上涌，那么就会形成希森与萨普所发现的那种洋底山脊与裂谷。而如果这种情况发生在大陆下方，那么一块原本完整的大陆就会被撕裂。



6-8 串联线索：北美与非洲曾经拼合在一起

板块运动理论揭示了无处不在的关联。在本书的第一章中，法里希

之所以会带领小组前往格陵兰，正是因为我们发现那里的岩层性质与我们此前考察的康涅狄格州以及加拿大境内的岩层很相似。在格陵兰的每一处，古代的断层、湖泊的沉积以及砂岩中的证据，都指向一个事实：在大约2亿年前，北美大陆东部发生了分裂。岩层性质的这种相似性一路延伸，跨越大西洋，直到摩洛哥和欧洲。岩石和化石中显现的模式让我们得以串联起所有的线索：曾经有一个时期，北美洲东部、格陵兰以及摩洛哥都属于同一个大陆，随后大约在2亿年前，这块大陆随着大西洋的形成而发生了分裂。

然而，这一事件的意义远远超出了地图上的变化本身。

隐藏的地图

1967年，美国得克萨斯州的列文斯顿船厂[注]架设起了“格洛玛·挑战者”号[注]轮船的龙骨。如果不是船中央升起的一座高达15米的巨大钻塔，这艘船看起来与其他船只并没有什么两样。在接下来的15年中，“格洛玛·挑战者”号前往世界各地的大洋开展洋底钻探任务，总共停船作业超过600次。这艘钻探船可以从海床下方约2000英尺（约600米）的深处钻取岩芯。每一根长长的岩芯都会被分成50段左右单根长度30英尺（约9米）的小段运送到船上。这些包含基岩和沉积物的岩芯看上去就像一根根灰褐色的旗杆。考察期间一共采集了大约2万根这种岩芯，从这些科学宝藏中，我们得知了洋底的年龄、成分和它们的历史。今天，这些岩芯被存放在全球各地的库房内，在“格洛玛·挑战者”号退役多年之后，科学家们仍在对它们开展研究。

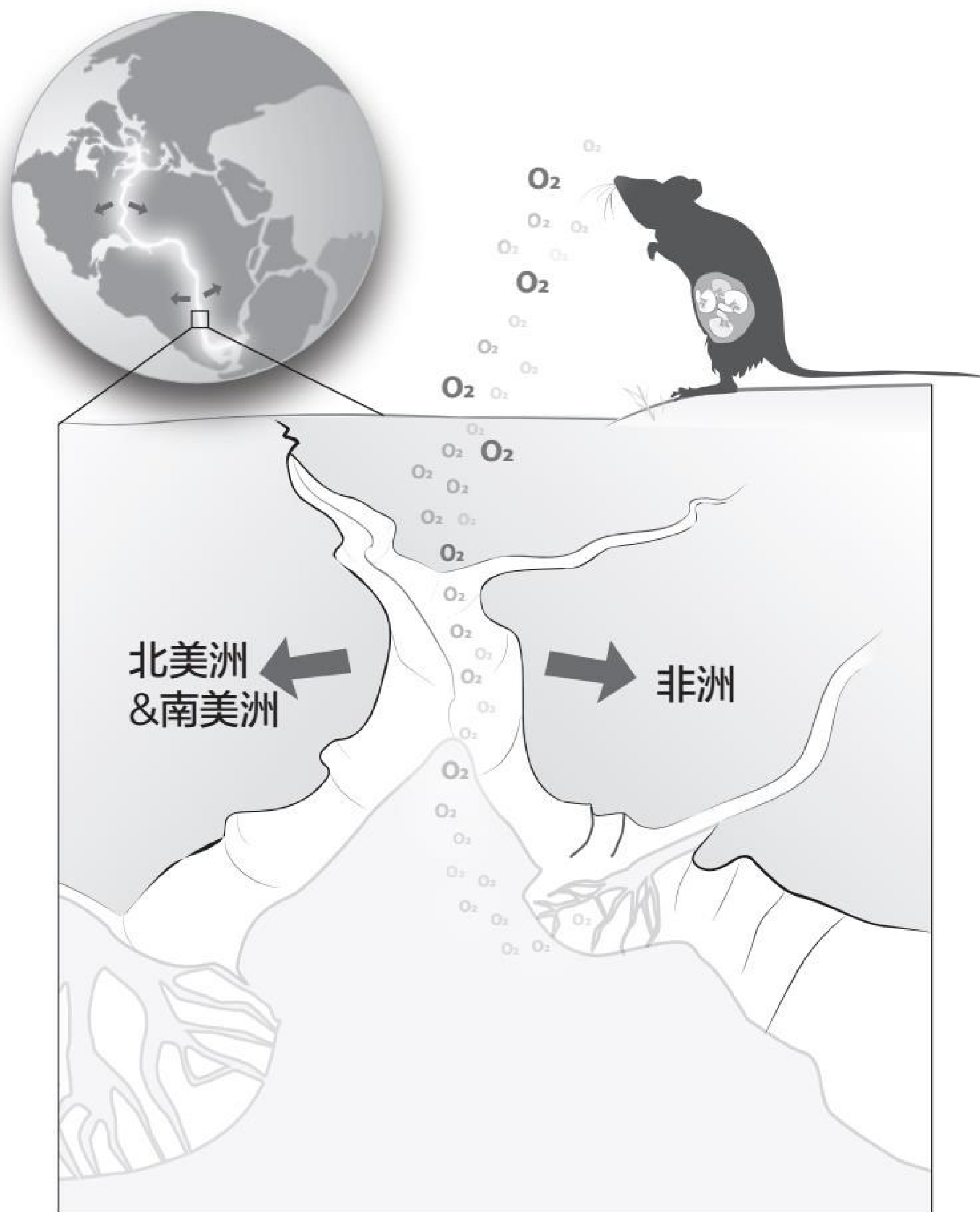
这些岩芯中的矿物层可以让我们反演过去2亿年中的大气状况、温度以及地球所处的状态。其中尤为引人注意的是，从中我们可以得知当时地球大气中氧气含量的高低。这种分析中有些部分看起来似乎违背直觉，但其核心思想便是：大气中的氧气含量可以通过测定样品中以不同

形式存在的碳的含量来进行测算。地球上的氧和碳处于一种平衡中：火山爆发释放出大量的碳，而活着的生物体以及与岩石之间的相互反应则是其主要的消耗机制。碳会与氧发生反应，并影响氧气在大气与水体中的含量水平。通过对岩芯各层面沉积物中不同类型碳原子含量的测定，我们便可以估算出地质历史中不同时期的氧气含量水平。

“格洛玛·挑战者”号钻取的岩芯中隐藏着两个世界：一个是大约2亿年前，大西洋开始形成之前的世界；另一个则是大西洋形成之后的世界。可以看出，在大西洋形成之后，大气中的氧气含量水平出现了显著的上升。在前一个世界中，我们即便是安静地坐着也会感到呼吸困难；而到了大约4000万年前，大气中的氧气含量已经与今天接近，我们可以自由地奔跑了。

2亿年前那道裂谷的出现以及超级大陆的解体，创造了大量新的海岸线。海岸是大陆与海洋的交会之地。每一个住在海边的人都知道，这些地区是侵蚀作用的高发区。侵蚀的增加会引发一系列的连锁反应。设想所有新生的海岸线都向海洋倾卸由侵蚀作用产生的沉积物，那么这些沉积物会逐渐覆盖原本散布在海床上的一种特殊的“软泥”。这些“软泥”非常关键：每一天都有数以万亿计的单细胞生物死亡并沉到海底；当它们的尸体发生降解时，便会消耗氧气。随着这种“软泥”的腐烂，水体以及大气中的氧气就会被大量消耗。然而，当这层软泥被沉积物覆盖后，氧气的消耗速度就会减慢，从而得以在水体和大气中逐渐累积。这就是那道裂谷和新生的海岸线带给我们的礼物：覆盖掉海底那些消耗氧气的“软泥”，让大气中的氧气含量得以提升。

随着大陆的分裂，出现了一个新的世界——一个氧气含量不断升高的世界。随之而来的，是一系列崭新的机遇。



6-9 大陆的分裂以及大气中氧气含量的上升为我们的祖先提供了机遇

类似我们这样的哺乳动物，有着一种高能耗的生活方式。我们自己为自己生产热量。我们肌肉的运动，加上身体毛发、脂肪还有人类所穿的衣服所提供的某种程度的绝缘，能够让我们的体温相对于外界保持恒定。像蜥蜴这样的冷血动物同样可以保持体温的相对恒定，但它们更多

是通过行为机制来实现的：当温度过低的时候爬到岩石上晒太阳，而当温度过高的时候则躲到阴凉处。在低温环境下，蜥蜴无法保持活跃。因此在北极之行中，我不必担心被蛇咬，北极熊才是我们主要担心的对象。在足以让冷血动物丧命的寒冷环境下，哺乳动物仍能保持活跃。温暖的血液将我们与外部世界温度的多变环境分离开来，但要让这体内的温暖之火持续燃烧，则需要氧气。

我们不仅是在成年时期与外部世界相隔绝，当我们还在母亲的子宫里时，这种过程便已经开始了。子宫中的胚胎被隔膜包围，这些隔膜能够保护胚胎并为它提供与母体之间的血液供应联系。由于胎儿发育所需的全部氧气都由母体供应，因此必须存在一种机制，能够将氧气从母体血液转运给胎儿。母体与胎儿血液中的氧浓度差促进了这种转运：在母体血液中氧浓度远远高于胎儿血液的情况下，氧气就会向胎儿的血液转运。血液中的血红蛋白分子、血细胞以及血管本身的结构让这样的机制成为了可能。然而，只有当母体血液内的氧气浓度足够高时，这一机制才能顺利发挥作用。这一限制意味着，在海拔大约1.5万英尺（约合4500米）以上的高度，通过胎盘繁育的哺乳动物将很难在母体内发育。这一海拔高度上的氧气浓度大致与2亿年前大西洋尚未形成时的大气氧浓度相当。

将身体与外界多变的环境相隔绝是有代价的：一只大型的温血哺乳动物需要不断地补充“燃料”来维持它的体温，确保在子宫内的正常发育以及出生后的生存。氧气是这一过程中的关键：这种类型的动物在大陆分裂前的低氧环境下是不可能出现的。玛丽·萨普所发现的那道裂谷，不仅开启了一个大洋，也为我们的祖先开启了一个充满可能性的新世界。

---

1. 纽约是美国第一大城市，卡萨布兰卡位于北非，是摩洛哥第一大城市；5.3亿年前地球上的大陆连成一片，因此你可以从陆上直接抵达这些城市而不用越过海洋。

2. 威廉·布兰福德与亨利·布兰福德兄弟（William and Henry Blanford）：前者为英国气象学家，后者为英国博物学家。

3. 马哈纳迪煤田有限公司（Mahanadi Coalfield Limited, MCL）：印度最主要的煤业公司之一，为印度煤炭公司下属分公司。

4. 爱德华·修斯(Eduard Suess，1831~1914)：奥地利地质学家。

5. 罗伯特·费尔康·斯科特（Robert Falcon Scott，1868~1912）：英国皇家海军军官，极地探险家，曾两次率领远征队前往南极。

6. 罗纳德·阿蒙森（Roald Amundsen，1872~1928）：挪威极地探险家，191 1年12月成为抵达南极点的第一人。

7. 亨利·鲍尔斯（Henry Bowers，1883~1912）：斯科特南极考察队的成员，在从南极点返回途中与其他队员一同遇难。

8. 爱德华·威尔森（Edward Wilson，1872~1912）：英国医生，极地探险家。斯科特南极考察队的成员，在从南极点返回途中与其他队员一同遇难。

9. 比尔德摩尔冰川（Beardmore Glacier）：位于南极，为世界上规模最大的峡谷冰川之一，长200公里，宽40公里，从南极高原一直延伸至罗斯冰架。

10. 珍珠港事件：日本海空军偷袭珍珠港，拉开太平洋战争的序幕。

11. 玛丽·萨普（Marie Tharp，1920~2006）：美国地质学家，海洋测绘专家。与另一名地质学家布鲁斯·希森一同绘制了首张全球洋底地图。

12. 莫瑞斯·伊文（Maurice Ewing，1906~1974）：美国地球物理学家、海洋学家。

13. 布鲁斯·希森（Bruce Heezen，1924~1977）：美国地质学家。

14. “地质诗话”原文为“an exercise in geopoetry”。

15. 亚瑟·霍尔姆斯（Arthur Holmes，1890~1965）：英国地质学家。在矿物的放射性定年以及海底扩张理论方面具有重要贡献。

16. 弗里德里克·维恩（Frederick Vine，1939~）以及杜拉蒙德·马修斯（Drummond Matthews，1931~1997）均为英国海洋地质学家，地球物理学家，对板块构造理论的发展作出重要贡献。

17. 劳伦斯·默里（Lawrence Morley，1920~2013）：加拿大地球物理学家，主要致力于对洋壳地磁特征及其与板块运动关系的研究。

18. 此处应是指“斯克利普斯海洋研究所”（Scripps I n stitution of Oceanography,SIO），是世界历史最悠久、规模最大的海洋与地球科学研究中心之一，创立于1903年，1912年起并入加州大学。

19. “地质诗话终成地质史话”原文为“Geopoetry Becomes Geofact”。

20. 约翰·图佐-威尔逊（John Tuzo Wilson，1908~1993）：加拿大地球物理学家、地质学家。

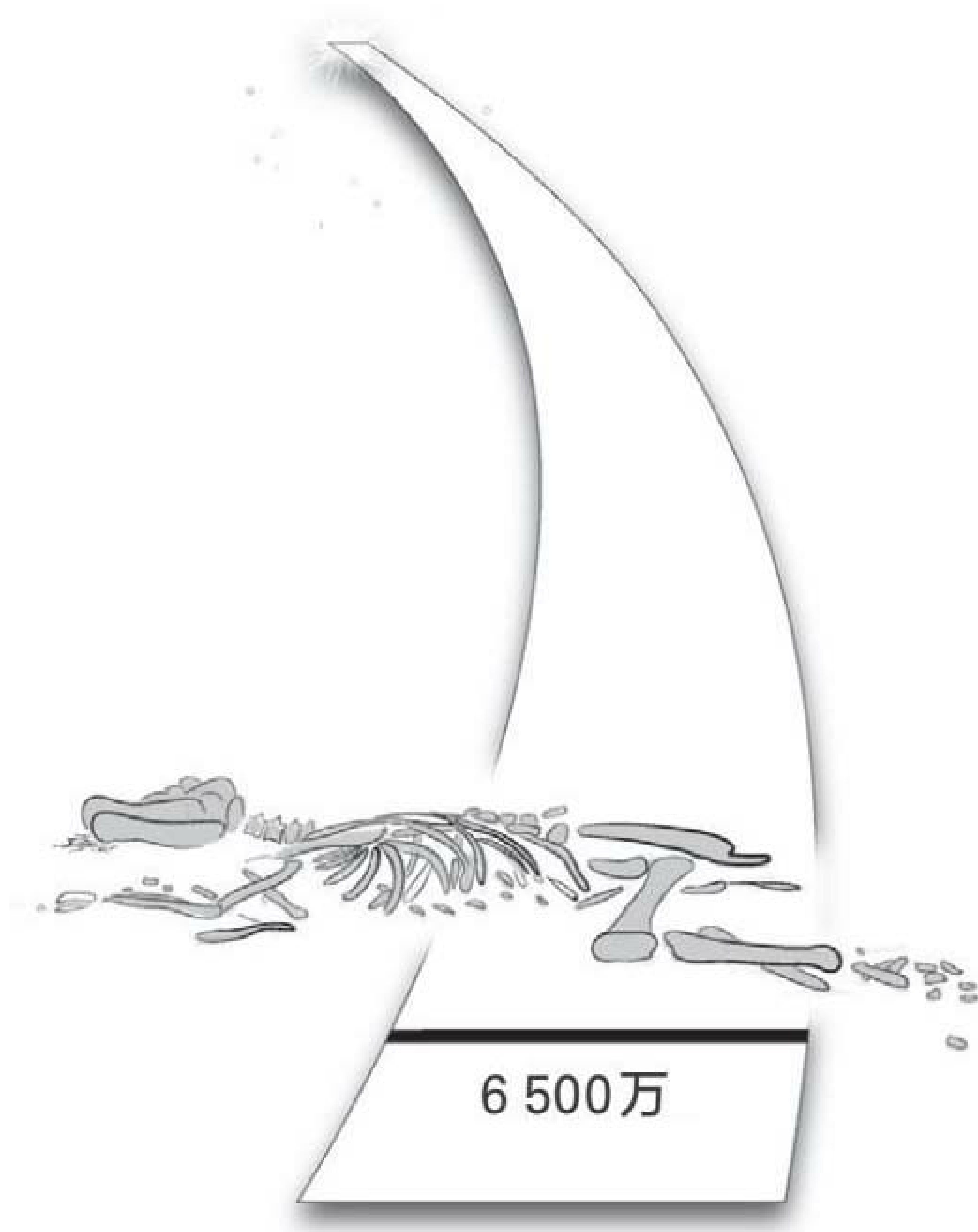
21. 圣安德烈斯断层（San Andreas Fault）：一条位于美国加州的著名断层，长度约1300

公里，为北美板块与太平洋板块的边界。

22. 列文斯顿船厂（Levingston Shipbuilding Company）：1859年创立，位于德州奥兰治。二战时曾为美国海军远洋拖船的主要建造基地，战后在海洋钻井船方面占据重要地位，后因经营不善，于1985年关闭。

23. “格洛玛·挑战者”号（Glomar Challenger）：执行全球首次深海钻探任务的美国科考船，其主要任务是验证海底扩张造成大陆漂移的假说。

第七章
山顶的主人



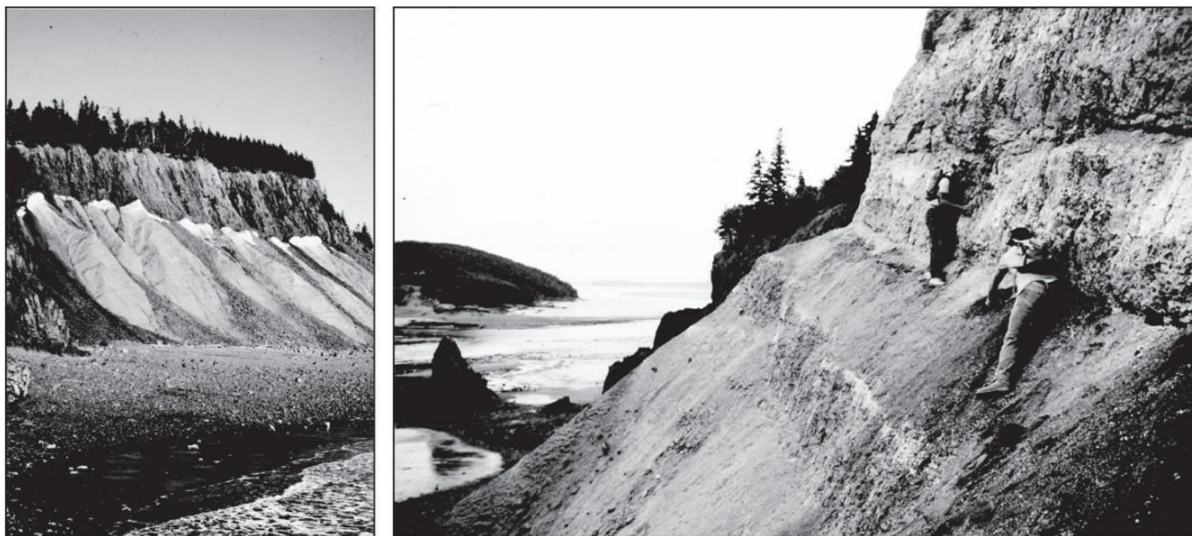
“再往前走一步，”保罗·奥尔森[注]不断重复着这句话，就像是在念咒语。他正催促着我往前走，而我则呆若木鸡，站着一动不动。

我们正位于加拿大新斯科舍[注]的海岸，从化石发掘工作中忙里偷闲，来采集一些地质学样品。这片海岸线由壮观的红色、橘色以及褐色的砂岩组成，让人想起美国西南部沙漠地区的霍皮人和纳瓦霍人[注]保留地。一旁的海水则衬得这里的景色愈加美丽：基岩的悬崖经过天然的侵蚀，变成了一座满是洞穴、拱桥和岩柱的雕塑公园。作为哥伦比亚大学的地质学家，保罗想要从这里的一条白色岩层中取得一些沙粒样本，这条岩层被夹在下方的橘色岩层与上方的褐色岩层之间。

不幸的是，这条白色岩层位于悬崖上方约200英尺（约60米）高的地方，并且这道崖壁的坡度太陡，几乎无法攀登。别的不说，光是它的风化程度就让人胆战心惊，一脚踩空人就会滚落下去。为了进行采样，我们不得不用地质锤在崖壁上敲出一个个凹坑作为立足点，然后小心翼翼地一步一步往前挪。我不是一个登山爱好者，还有点恐高，因此只有盯着自己的脚、手或是地质锤才能往上移动。我很清楚，即便是往下瞄一眼都会让我头晕目眩，僵在原地。以前遇到这种情况时，同事们便会轮流过来耐心安慰我，引导我慢慢下到地面上。

经过保罗一两个小时的劝诱，我总算抵达了那道白色岩层所在的位置。近距离观察，这道白色岩层的厚度几乎有一人高。在接下来的近一个小时里，我们用凿子取了样，并将样本放进加了标签的样品袋里，准备带回去分析。放眼望去，脚下和前方美丽的芬迪湾[注]像是对我们艰难攀登的最好回报。这是初夏的一天：当时正值高潮位，风很小，海面很平静，几乎就像一面镜子。海湾的美景诉说着它的历史：海岸线的形状反映了数万年前曾雕琢这里岩石的冰川运动留下的痕迹。牧场和人类定居点则是这片古老景色当中最新的一面。当你知道如何去观察时，就能看到那一层又一层的历史。

正是这些岩层中蕴含的历史吸引了保罗的注意。这道白色岩层以及它周围的岩层组成之所以将我们吸引到了这里，是因为它们隐藏着关于过去事件的线索，而那些事件塑造了我们的存在。



7-1 新斯科舍的海岸悬崖，远景（左侧）以及近景（右侧）。图中的地质学家充当比例尺

大约2亿年前，大陆的漂移和大气中氧含量的变化已经让整个世界呈现出明显的现代面貌，除了一件事：在数百万年里，那些体型最大的动物并不像今天这样是哺乳动物，而是体型巨大的恐龙和它们的爬行动物近亲——沧龙、蛇颈龙、鳄鱼，以及翼龙(注)。陆地、海洋和天空被一个和现在完全不同的生物圈所占据。无论从哪一个方面来衡量，这些生物都是非常成功的：当时它们在世界上有无数的种类，在全球的各个角落繁盛地生活了数百万年。然后，它们突然消失了。

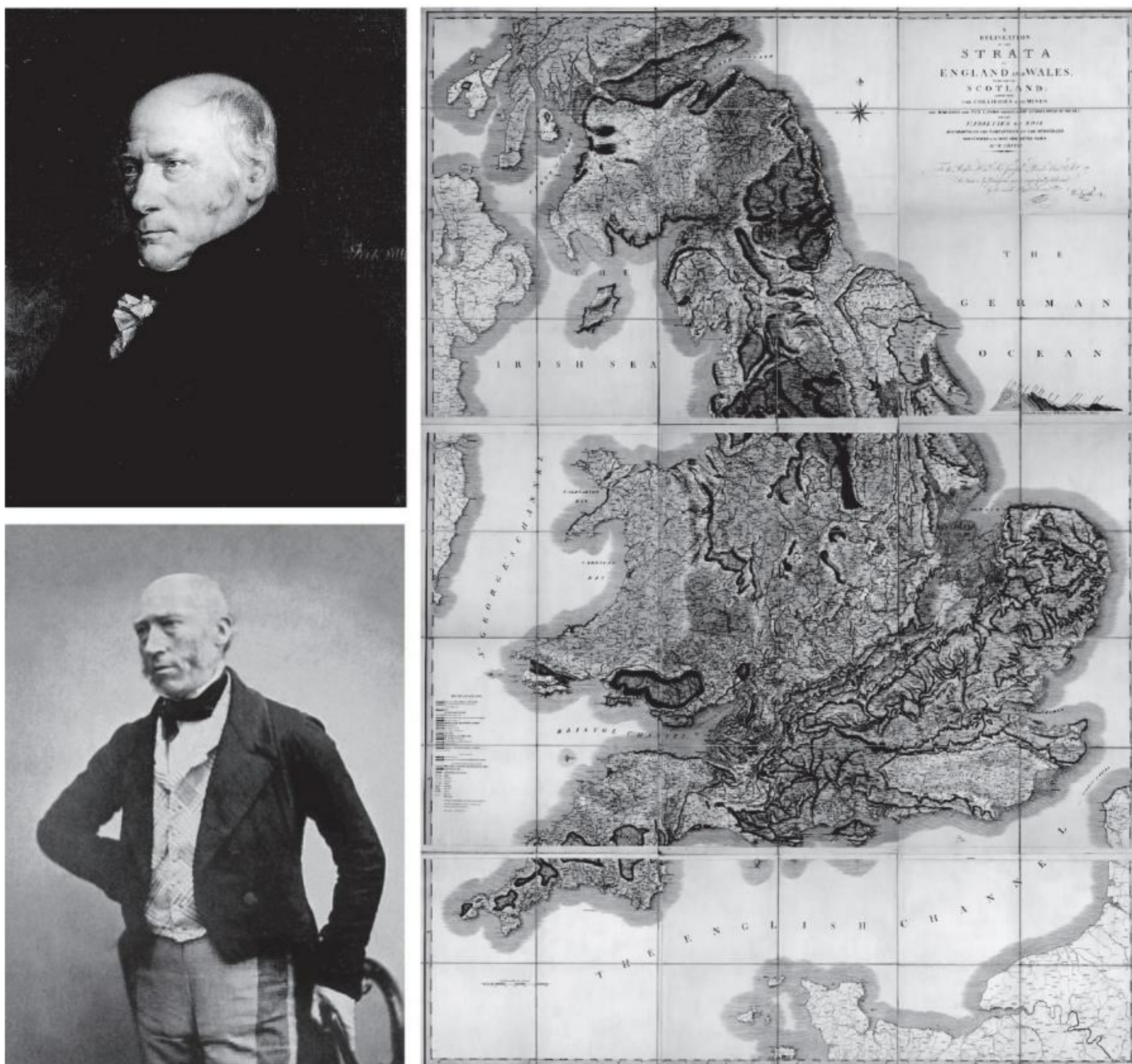
失落的世界

1787年，威廉·史密斯(注)受雇去为英格兰萨默塞特郡(注)的一块土地估价。他并没有因此获得任何金钱上的奖励，但却以另一种方式得到了宝藏。

史密斯在当地考察了河边、山头上或是在煤矿矿坑中出露的岩层。在考察一处老旧煤矿的矿井时，他注意到与煤矿毗邻的岩石呈层状分布，并且可以很容易地根据颜色和纹理来区分不同的岩层。经过仔细地观察，史密斯发现，每一个岩层都由一种特定的岩石组成，其中所含的化石种类也都不一样。通过比较这里的岩层与附近区域的其他岩层，史密斯的头脑中突然灵光一闪：这一矿井中的岩层与附近暴露在地面上的岩层是相似的。在对这些岩层进行更为细致的观察后，他发现，根据其中的化石种类，可以将不同地区的相应岩层一一匹配起来，就像是玩一幅巨大的拼图。自然哲学家们——甚至包括莱昂纳多·达芬奇——曾指出，可以对岩石、化石以及岩层进行这样的对比。现在，这个简单的灵感让威廉·史密斯掌握了绘制地质图的关键所在：即岩层中的不同岩石和化石。

史密斯扩大了他的考察范围，先是在巴斯[注]周围，随后又扩展到整个英国境内。开展这项新工作需要用钱，但史密斯既没有学术职位，也没有任何科研学会的资助，因此在资金上捉襟见肘。在成功说服了大约100位资助者资助这项研究后，他便出发去考察所有能找到的岩石露头。他有一个专业上的助手：他的外甥约翰·菲利普斯[注]。约翰在7岁时父母双亡，自那以后舅舅便成了他的法定监护人。每一次外出考察，约翰都会与舅舅同行，到15岁时，约翰已经训练出了搜寻化石的敏锐眼光。

今天我们使用航空摄影和GPS技术绘制地质图，依据的是偶尔暴露出地表的岩层露头，以及通过钻探获取的深部岩芯。这是一项庞大的科学工程，一般会由石油公司、矿业巨头和政府来提供所需的资金。地质图是开展地球研究的基础，我们所有的野外工作都要从这里开始。1815年，史密斯依靠他自己设计的工具，独立完成了这样一项艰巨的任务。完成后的地图是一项了不起的成就：它竖起来有7英尺（2.1米）高，上面描绘出了整个英国境内主要岩层和化石带的相对位置。



7-2 威廉·史密斯（顶部），约翰·菲利普斯（底部）以及史密斯绘制的英格兰地质图（右侧）

然而史密斯很不走运，当时伦敦地质学会的掌门人是乔治·贝拉斯·格里诺[注]。没有格里诺的支持，史密斯的地图的学术价值就得不到承认，因此便难以卖出能够让他偿还债务的发行量。但事情还要更糟——史密斯不仅没有得到格里诺的支持，后者甚至还开始制作起自己的地图来了。更过分的是，格里诺还承诺他的地图会比史密斯的地图更便宜。

史密斯的地图销售量极为惨淡，因为欠债，他被捕入狱，在监狱里待了11个星期。出狱回家后，他发现自己的所有财产都被没收了。他曾

一度希望能保住与外甥一起收集的那些化石，但为了偿还债务，最后不得不将其出售了。但厄运还没完：就在这个时候，他的妻子突然精神失常，不得不住院治疗。

尽管命运坎坷，但史密斯为我们留下了丰富的遗产。他向我们展示了化石是如何从最深的、也就是最老的地层，逐渐向最顶部、也就是最新的地层演变的。他还揭示了以化石作为标记物，在一片广袤的地区内追踪相同岩层的方法。最后，还有很重要的一点，他给了外甥约翰·菲利普斯一双搜寻化石和观察岩层的敏锐之眼。

如果说舅舅史密斯是一个被不幸婚姻所困的反正统主义者，那么菲利普斯则与他完全相反：他是功成名就的牛津大学研究员，整个成年时期都与自己的妹妹在一起生活。菲利普斯将自己投入了舅舅未竟的事业：史密斯识别出了那些岩层，而菲利普斯则决心理解它们的含义。

从小与舅舅一同工作的经历，赋予了菲利普斯敏锐的双眼和一丝不苟的工作作风。这让他得以采集到数量巨大且标记清晰的贝壳、骨骼和其他化石。从舅舅的地图出发，他追踪了每一种岩层中的每一种已知化石，并且思考了一个问题：在岩层之间过渡的边界层上，究竟发生了什么？

菲利普斯识别出了三个不同的时代，每个时代都拥有自己独特的化石世界。这些古老世界之间的差异意义深远：在它们之间的边界层中，生物突然消失了，很快在下一层中又出现了全新的生物种类。菲利普斯认为这些现象代表了三个不同的地质时期，并将它们分别命名为：古生代、中生代和新生代。1855年，他出版了自己的研究结果。今天，只要去任何一家自然博物馆参观，都能了解他这项工作的意义有多么重大——在摆放着三叶虫、恐龙和鲨鱼的展厅前，你会看到这三个地质时期的名字被印在时间说明图上。

这是一个探索自然世界的年代，通过对岩石和化石的观察，人们开

始形成对这个世界的崭新认识。每个月都有考察船从世界的遥远角落返回，满载着科学界从未见过的矿物、植物、动物和岩石。各种自然哲学家——包括我们今天所称的解剖学家、古生物学家以及地质学家们——正是这些研究的主角，他们尝试着去解密这些被带回来的奇特生物。

在这一时期有一位不能不提的大家，他就是乔治·莱奥帕德·科里蒂安·弗里德里克·达戈伯特·居维叶注。他的自负程度堪比他名字的长度。虽然出身卑微，但到去世时他已经是“居维叶男爵”，并且是当时巴黎自然历史博物馆的主要负责人之一。

一次，从南美洲返回巴黎的考察队带回了一个长度超过6英尺（1.8米）的骨架，整体看上去就像一艘小型运兵船。这个生物有着巨大的骨骼和爪子，嘴里的牙齿呈扁平状，样子与居维叶所知的任何生物都不同。而当他仔细检查了这幅骨架的脊椎和四肢骨骼时，他的心中有了答案。居维叶是一位有着敏锐直觉的解剖学家，他从这幅怪异的骨架中隐约看出了树懒的身体构造。但它与当时世界上存在的树懒又都不一样注。

在这之后，几种类似大象的不同骨骼又引起了居维叶的注意。经过与大象骨骼的仔细对比，居维叶判断这些骨骼属于一个新的种类——猛犸象注。尽管这些发现有助于人们对于生物多样性的理解，但它们同时也提出了一个新的问题：这些生物的后代现在都生活在哪里？

居维叶提出了自己的观点：大地懒和猛犸象或许已经不存在于这个世界了，它们所代表的是一个早已消失的生物世界。灭绝——构成我们今天世界观的一个如此基本的概念，对于数千年来的无数思想家们完全陌生的一个概念——现在被用来解释岩石中发生的事情。

对早已消失的生物的发现一个接着一个。德国的业余洞穴探险家们在洞穴的底部发现了一具像是某种野兽或龙的巨大骨骼。当地一所医学院的解剖学家查看之后认为，这可能是一种古老的熊的骨头，但它的大

小和比例都与当时生活在欧洲的熊类完全不同。数年之后，在北美殖民地工作的托马斯·杰斐逊[注]在他的故乡弗吉尼亚找到了大型猛犸象、大地懒以及其他生物的化石。

居维叶是一个大思想家，并不仅仅满足于描述。他擅长从观察中进行总结，从中得到自己的理论。在居维叶看来，事情的答案是显而易见的：灭绝不但真实发生过，并且还相当普遍。他深知这一概念的普遍性和重要性，在他早期的著作中曾这样写道："所有这些事实……在我看来，都证明了在我们的世界之前还存在过另一个世界，但后来由于某种大灾难而消失了。"

居维叶的观点同在他之前的菲利普斯一样，认为灾变塑造了地球。这在当时是一项超前的认识，尽管有大量的证据，并且得到学术权威的肯定，但灭绝与灾变的理论仍然被科学界忽视了100多年。

灾变说与当时主流的科学理论产生了直接的冲突。这一主流观点可以非常好地解释地球上观察到的很多现象，它容不得闯入者。它的成功源自一句座右铭："将今论古。"[注]这一思想如此简洁而优美，所有人都将其视作理所当然。如果你在周一看到一辆车停在街道的一边，而到周四却看到它停在了街道的另一边，你会推断是有人开动了这辆汽车并将其停到了新的位置上。你肯定不会想像这辆车自己跑到了街道的另一边，或是被一股神奇的气流卷到了另一边。今天起作用的机制，可以用来解释昨天发生的事情，而根本不需要用到魔法或是其他不寻常的物理学。

同样的推论也可以应用于研究岩石、悬崖和岩层的历史。今天我们的身边起作用的力量包括风、雨水和重力——所有这些都是物理与化学定律的产物。如果说它们塑造着今天的世界，那么它们也一定曾在过去发挥作用并留下岩石记录。科罗拉多大峡谷[注]是由它底部的科罗拉多河下切侵蚀形成的。峡谷成因的已知机制只有两个：河水的侵蚀作用，以

及当地的地层抬升速率。但这里有一个重点：这种机制似乎是非常缓慢的。沙子并不会在一夜之间变成岩石，流水更无法在短时期内雕刻出一道深达数千英尺的峡谷。大峡谷和其他地质景观的存在说明了一个显而易见的事实：它们都是经过数百万年的时间才形成的。

这种缓慢的过程在解释某些现象的形成方面取得了令人惊叹的成功，例如大峡谷、珊瑚礁和海岸线：今天所存在的机制不但能够解释地球的历史，它们还说明动物或植物发生的大部分变化都是十分缓慢的。看看今天的地球，没有人能想到，更不用说目睹任何一种可能造成地球生命全面灾难的机制。

正是在这样一种科学教条的影响下，菲利普斯和居维叶等人所提出的灾变学说成了十足的歪理邪说，被归为异想天开的科学狂想。菲利普斯继续着他的工作，直到1874年，他因为在牛津大学万灵学院的台阶上摔倒而去世。那时，灾变学说已经彻底死了——占据统治地位的渐变学说扼杀了它。

变革

小城斯塔福德位于堪萨斯州的中南部[注]，有大约1000户居民。小城里有一所高中，规模非常小，连足球赛都只能举办8人制的。在20世纪初期，当地的奈维尔一家在本地享有很高的声誉，由于他们对该地区的自然历史非常了解，常常有人上门请教。一次，本地农民们在地里发现了一块奇怪的石头，交给奈维尔家的大人们鉴定之后发现，那竟然是一颗猛犸象的牙齿。当时只有6岁的诺曼·奈维尔[注]目睹了这些神奇的化石，它们改变了他对家乡的认识：这片今天被称作“堪萨斯”的广袤土地曾经遍布草原和森林，生活着大型的哺乳动物。小诺曼对古生物学的兴趣与日俱增，他也确实擅长于此——他在享有盛誉的耶鲁大学古生物学研究生项目中获得了一个位置。当时是20世纪30年代，耶鲁大学正是这

一领域的主要研究中心之一。

诺曼·奈维尔在耶鲁大学的工作成了一项家庭事务：他的妻子在耶鲁大学皮柏第博物馆[注]从事整理样品的工作，从经济上为他提供支持，直到第二年诺曼获得项目奖学金的资助。诺曼研究的是蛤蜊、软体动物以及其他拥有两瓣贝壳、中间以一个“铰链”相连接的双壳类动物。奈维尔很快看到了研究这类动物的优势：它们拥有硬壳，因此很容易留下化石；它们的化石在世界各地的古代地层中广泛分布。奈维尔还做了一些当时其他科学家尚未意识到其重要性的工作：他观察现存的双壳类动物，并据此推断那些已灭绝的双壳类动物的行为特点。

二战期间，奈维尔跟随美国国务院前往南美洲的秘鲁境内待了一段时间，1945年回国之后，他在位于纽约的美国自然历史博物馆得到了一份工作。这是一份天赐的美差：在这里，奈维尔有机会接触享誉世界的样本收藏，与馆内杰出的科学家们共事，并能得到充足科研经费的支持。在当时，这家博物馆是地球上研究化石与分类学的天堂。博物馆展厅的后部区域是一些走廊，其中有些甚至长达四分之一英里。走廊里洋溢着科学的氛围——从世界各处运来的新化石和生物样品与关于大自然的崭新观点在这里紧密结合。这里曾经是，现在也仍然是创新观点的大熔炉。

就在抵达纽约之后不久，奈维尔被邀请为一部鸿篇巨制撰写两个章节的内容，也就是后来的《无脊椎古生物学论文集》[注]。这一专著的内容与它的名字一样令人生畏。编纂这一专著的动机，主要是想将当时已经发现的所有化石做一次归档整理，详细罗列其分类学以及发现的地层层位等信息。到今天，这一专著已经扩展到庞大的50卷本，有超过300名古生学家参与编纂，其中每一位都是特定化石研究领域的专家。在很多人的眼中，这样的一部书不过像是集邮册一样。但在奈维尔和其他科学家的手里，它却是通往科学发现的一扇窗子。

奈维尔沉浸在对贝壳化石的研究中：他很清楚它们的分类和差异性，更重要的是，他也很清楚这些贝壳所在的岩层位置。同他的前辈菲利普斯和史密斯一样，奈维尔也将全球各地的岩层当成一本书来读。但与前辈们不同的是，奈维尔现在拥有了丰富的全球数据——相关资料都被编纂进了《无脊椎古生物学论文集》里。

在《论文集》的编纂过程中，奈维尔和其他古生物学家发现，随着登记的化石记录越来越多，一个不容忽视的事实逐渐显露了出来。古老的地球上曾经遍布动物与植物，但它们却几乎在同一时间突然消失了，并且这样的情况出现不止一次——地球生命并非只经历了一次大灭绝，而是好几次。

奈维尔成了全球灾变论的一小群支持者之一。一个多世纪之前，菲利普斯与居维叶也曾经为这一理论辩护。然而，科学界对其的反应还是老样子：这项工作在很大程度上被忽略了。在化石记录中发现的模式，无法动摇一个多世纪以来根深蒂固的观念。从某些方面来说，大陆漂移学说也遭遇了与之相似的命运：大陆移动的模式已经一清二楚，但由于缺乏可以解释大陆如何漂移的机制，很多人仍然不愿接受大陆漂移的事实。灾变论的情况也是如此——究竟有什么样的机制能带来这样的全球性灾变呢？

20世纪80年代早期，加州大学伯克利分校的地质学家沃尔特·阿尔瓦雷茨(注)正在意大利研究一些距今约6500万年的岩层。正是在这一阶段，恐龙消失了——这一时期被称作“白垩纪”。沃尔特是一位直觉敏锐的地质学家，他成功地将白垩纪的结束时间限定在了一层薄薄的粘土层内。在这一层的下方是恐龙、海生爬行动物以及其他生物生活的时代，而在这一层上，所有这些生物全都消失了。沃尔特想知道：这些生物消失的速度有多快？关于这个问题的答案，他相信，就藏在这层薄薄的粘土层之中。或许其中的一种化学元素可以作为某种计时器，来估算这层粘土的堆积究竟经历了多长的时间？

沃尔特带着这个问题找到了他同在伯克利任职的父亲——曾荣获诺贝尔奖的物理学家路易斯·阿尔瓦雷茨（Luis Alvarez）。老阿尔瓦雷茨有着一颗不知疲倦的大脑：他一直在寻找能够将他的粒子物理学知识应用于解决科学难题的机会。当沃尔特向他提出关于粘土的问题时，他老爸正计划着去埃及扫描金字塔，搜寻里面的宝藏。

阿尔瓦雷茨父子两人制定了计划，对粘土层内的一些元素进行精确的测量，其中之一便是铱元素。这种元素在地球上的含量很低，但在某些类型的小行星和彗星上却很常见。这样做的想法很简单：假如陨星抵达地球的频率是固定的，那么铱元素的丰度便可以被视作某种“地质时钟”。一般而言，岩石中铱元素的丰度在十亿分之几的水平上，就像是沙滩上的一粒沙。幸运的是，老阿尔瓦雷茨认识劳伦斯伯克利国家实验室[注]的一个研究团队，他们拥有相关的专业技能和实验设备，可以开展这样精确的测量。

沃尔特和他的父亲等来的是一个巨大的意外：粘土层中的铱元素含量根本不是他们此前所预计的情况。铱元素的丰度在各岩层的分布完全不均匀：在大部分岩层中，铱元素的含量几乎为零；而在一个特定层位中，它的含量却几乎超出检测上限。很显然，小天体抵达地球的频率并非是恒定的；时不时会有一次大型的撞击事件发生。而岩层中异常高的铱元素含量，就是一次大型撞击的证据——这一岩层恰恰正是标志着全球生物大浩劫的粘土层。

路易斯随后提出了一种大灾难发生的机制。他指出，当一颗陨星撞击地球，它将蒸发大量物质，由此产生的大量尘埃将会遮蔽太阳光，导致植物大量死亡。这一效应会沿着食物链持续传导下去，从而造成广泛的灾难。现在，我们不但能够想象一种全球性的灾变机制，还能分析世界各处的岩层样品并检测其造成的影响。

科学发现最激动人心的地方是：它不但给出真相，并且还能引导我

们抵达全新的探索之地，去探索新的对象、分析新的数据。这种整体效应要大于各部分之和。小天体撞击的理论不仅仅告诉了我们有关陨星坠落地球的事实，还为我们开辟了一条检验导致全球物种灭绝机制的全新途径。

阿尔瓦雷茨父子的工作还有一个更深层的意义。在人类开始观察岩石、身体和化石的漫长岁月里，我们第一次不仅能够想象一种引发全球灾变的机制，还能反演这一过程，并分析它对生物圈造成的影响。小天体撞击学说再次将灾变论带回了学术界的议程上。菲利普斯、居维叶和奈维尔的思想不再被视为异想天开的边缘科学。现在的问题已经从“灾变是否可能”转变成了“全球性灾变的后果将会是什么”。

数字游戏

20世纪60年代末，一个名叫汤姆·斯科普夫[注]的年轻人打算改变我们研究过去的方式，他并不在乎在这一过程是否会激起喧嚣。对他来说，大多数古生物学家都局限在自己所研究的那一小群动物上，而且都局限于很短的时期内。这是一个充斥着特例的学科。如果我们想解答一些真正的大问题，那么我们必须改变研究古生物学的方式。正如史蒂芬·杰伊·古尔德[注]所言，斯科普夫想在古生物学中引入严格的数值方法，来查找其中普遍的模式，他想以此“拯救古生物学”。

但斯科普夫究竟打算怎么做呢？不管他自己有没有意识到，他把古生物学重新带回了它的源头——回到了约翰·菲利普斯那里。

“我们如何才能做一些不一样的工作？”斯科普夫在一场特别的聚会上抛出了这个问题。他把一批古生物学领域的顶尖专家召集到了位于科德角的伍兹霍尔研究所[注]的一间会议室里。当专家们到达那里时，他们发现桌子上放着一套《无脊椎古生物学论文集》。他们将要重新捡起奈

维尔等前辈中断的工作，尝试在生命的历史中找出普遍的规律。将这一领域中最好的头脑和迄今所知的几乎所有化石资料，在马萨诸塞州的一座海边小屋中锁上三天，或许会有什么有趣的事情发生。至少，这构成了阿加莎·克里斯蒂[注]的一部神秘小说中的场景。

斯科普夫的这场为期三天的“最佳化石数据”与“最天才头脑”之间的大碰撞，最后得到的结果是什么呢？斯科普夫在芝加哥大学的一位同事参加了那场聚会，他做了这样的总结：“我们什么也没有得到。完全是零。”

幸运的是，史蒂芬·杰伊·古尔德在聚会的最后一天带来了他新招的一名研究生。这个学生名叫杰克·塞普柯斯基[注]，他是一个计算机专家，当时刚从圣母大学[注]毕业。

我们无从得知年轻的塞普柯斯基在那场聚会上说了或是做了什么。总之，会后古尔德便交给了他一项任务：将《无脊椎古生物学论文集》和其他数据库编录成能够进行数学运算的电子表格，按照地质年代表将所有化石组的出现次数数字化。这一年是1972年，塞普柯斯基开始了制表的工作，安安静静地进行着数据的整理归档。工作量越来越大，但塞普柯斯基仍然不断向前推进，甚至在他本人也成为芝加哥大学的教授之后，这项工作仍然在进行着。在伍兹霍尔会议召开10年之后，他终于发布了第一个可供使用的古生物学数据库。

20世纪80年代，当我还是一名研究生的时候，塞普柯斯基的数据库是这一领域几乎所有辩论的主题。随着所有的数字信息汇总到一起，事情变得再清楚不过：生命的模式绝不是随机的。在动物历史的早期，物种的多样性迅速增加，然后便到达了一个平台期。此后的一段时期，物种的数目只是略有起伏，但这中间存在着5处明显的间隔，在这些间隔里物种数目出现了崩溃性的下降。这其中最有名的便是导致了恐龙灭绝的那次事件，即所谓的“白垩纪终结事件”，时间大约是在6500万年前。

和恐龙一同消失的还有那些海生的和飞行的爬行动物、菊石[注]，以及其他数以百计的不那么有名的有壳类生物。在3.75亿年前和2亿年前，同样发生了灭绝事件。每一次这样的事件都有着相似的模式：地球上的某些生物几乎同时消失了。最严重的一次全球性灭绝事件发生在大约2.5亿年前，当时海洋中超过90%的物种永远地消失了。

灾变论不再是一群疯子科学家们的白日梦，我们的世界正是在这样的过程中被塑造的。另外，正如我们自阿尔瓦雷茨父子的工作后逐渐认识到的那样，来自陨星的撞击并非是能引发这类灾变的唯一机制。大规模的火山爆发和海洋化学成分的改变，也已经被证明可能是引发全球生物集群灭绝的罪魁祸首。了解到这些事实之后，我们现在可以思考一些更加深刻的问题了。

谁在全球生物大灭绝中幸存了下来？是否存在某种规则决定了生物会如何应对？遗憾的是，塞普柯斯基和斯科普夫都没能活着见证到在这一大问题上所取得的进展。斯科普夫是一名极其勤奋的科学家，似乎永远不知疲倦。他一旦锁定一个问题，就会不眠不休地工作，试图解决它。在1984年的一次野外考察中，他不幸突发心脏病，自此永远告别了他未能完成的工作，逝世时年仅44岁。而塞普柯斯基也于1999年在自己位于芝加哥的家中与世长辞。

在斯科普夫去世后，芝加哥大学招募了一位年轻的土耳其人来填补他留下的空位，这人就是大卫·雅布隆斯基[注]。雅布隆斯基的办公室跟我的办公室相对，在校园另一头的一栋翻新过的20世纪70年代砖瓦结构的摩尔城堡里[注]。大卫办公室的一角有一间实验室，另外还有一个开放式的大房间，俯瞰着科学图书馆。在他的房间被不计其数的书籍、文献和期刊占据之前，门还是开着的。要想走到大卫的书桌旁是一项挑战。来访者必须穿过一堆堆齐腰高的文献资料，绕过一叠叠几乎堆到胸口的书山，才能走到他放在墙壁一角的小书桌跟前。从这个位置上看不到房间的门，因为堆积如山的论文会挡住你的视线。但如果你向大卫要某一

篇文献，他会很快从某座“小山”里把它找出来。在这样的环境里我几乎迷路，但大卫却清楚地知道每一样东西的位置。他并不是一个杂乱无章的人；对于一个擅长从混乱中找出模式的人来说，这是一个理想的环境安排。

正如淘金者们从砂砾中筛出金子，雅布隆斯基的工作便是从地球浩淼的生命记录中寻找他的宝藏。大卫仔细挖掘每一个数据库，想要从生命的历史中找出一些信号，就像40年前伍兹霍尔会议上那些与会者们试图做的那样。他主要关注有壳类动物，因为这类生物数量众多，并且在化石记录中保存良好。对他的研究工作来说，每一项可测量的特征都是可贵的素材：这种生物有多大？它们在什么环境下生活？它们附着在什么上面？

从数据中剔除误差是一项复杂的工作。打比方说，假设我们要对比几种生物化石，并回答一个简单的问题：在遥远的过去，这些生物中哪一种的数量较多？最直接的办法是：前往全世界所有的博物馆，清点这些博物馆中收藏的所有这类化石。这样我们就能得到一个简单的结论：在远古时期数量最多的生物，应当就是博物馆中化石样品最多的那个物种。但我们很快会意识到，这其中有一个大问题：某些化石之所以比较常见，可能是因为它们相对容易保存，或者比较容易被找到。还有一种很常见的情况是，化石的采集者本身对于某些种类的化石有着特别的偏好，可能这类化石恰好与他当时的研究工作有关，因此就会刻意地多采集。

如果给你看一看我们那次北极之旅带回的样品，你会发现其中牙齿和颌部后端的骨骼特别多。这是否说明那些生物的牙齿与颌部要比它们身上的其他部分更为常见呢？显然不是。这只是因为这些部分相比身体的其他部分来说比较容易保存下来并被发现而已。大卫·雅布隆斯基和他的同事们花费了大量时间，试图将这类干扰和偏差从化石记录中剔除，从而找出其中真正的信号——对于地球生命的大普查。

大卫选择了双壳类软体动物作为基础实验对象。这类动物——包括蛤蜊、牡蛎、贻贝和其他近亲物种——不但是我们餐桌上的美味，也是地球化石记录中最常见的一部分。这些生物广泛分布于古代的湖泊、河流和海洋之中，它们的化石标本填满了世界各地博物馆中的一个又一个柜子。在化石记录中的广泛分布（它们已经在地球上生存了超过5亿年）让它们成为验证物种多样性如何随时间变化理论的理想实验指标。大卫和他的同事们仔细检查了这些物种几乎每一个可测量的特征：它们的大小、生活的水体、进食以及生长的速度，等等。这其中是否有哪些特征，能够决定在大灭绝事件发生时生物的生存或是死亡？

要想从大卫的角度看待事物，你需要将35亿年的生命历史视作一场巨大的生存游戏，其中那些活得更久、繁殖出更多存活后代的物种将会获胜。接下来思考一下那些能够帮助物种幸存下来并顺利繁殖的特征吧。你可能会列出这样的一份清单，其中包括：跑得比捕食者更快、跳得更高、更擅长攀爬或是拥有获取某种食物的特异化颌部。有些时候这可能意味着需要更大的体型，而在其他时候则青睐更小的体型。你可以评估生物完成某项活动的好坏：捕食、繁殖或是移动。你可以利用这些评估结果来预测谁会胜出，谁会失败：速度更快的生物会战胜速度更慢的动物，繁殖效率更高的动物会战胜繁殖效率低下的动物，等等。将这些特征放到漫长的地质历史尺度下考察，在数亿年的时间当中，这些特征可能与很多不同物种的生存胜利有关。然后你便开始考察，这些特征是如何在大灭绝事件发生时帮助这些生物更好地生存下来的。你可能会猜想，这类特征便是确保生物长期生存的关键。至此，你完全搞错了。

古生物学家们的圣杯——能够预测大灭绝中生物的生存几率的物种特征——究竟是什么呢？在地球漫长的历史中，在许多大陆上，数十亿年的时间里，地球经历了由小行星撞击、海平面改变以及火山喷发引起的好几起大灭绝事件。生命如何在灾难中生存下去，似乎应当存在某种规律。在所有因素中，有一个特征似乎赋予了我们预测物种在大灭绝事件中生存还是死亡的能力。在我们这颗星球的历史中，确保一个物种生

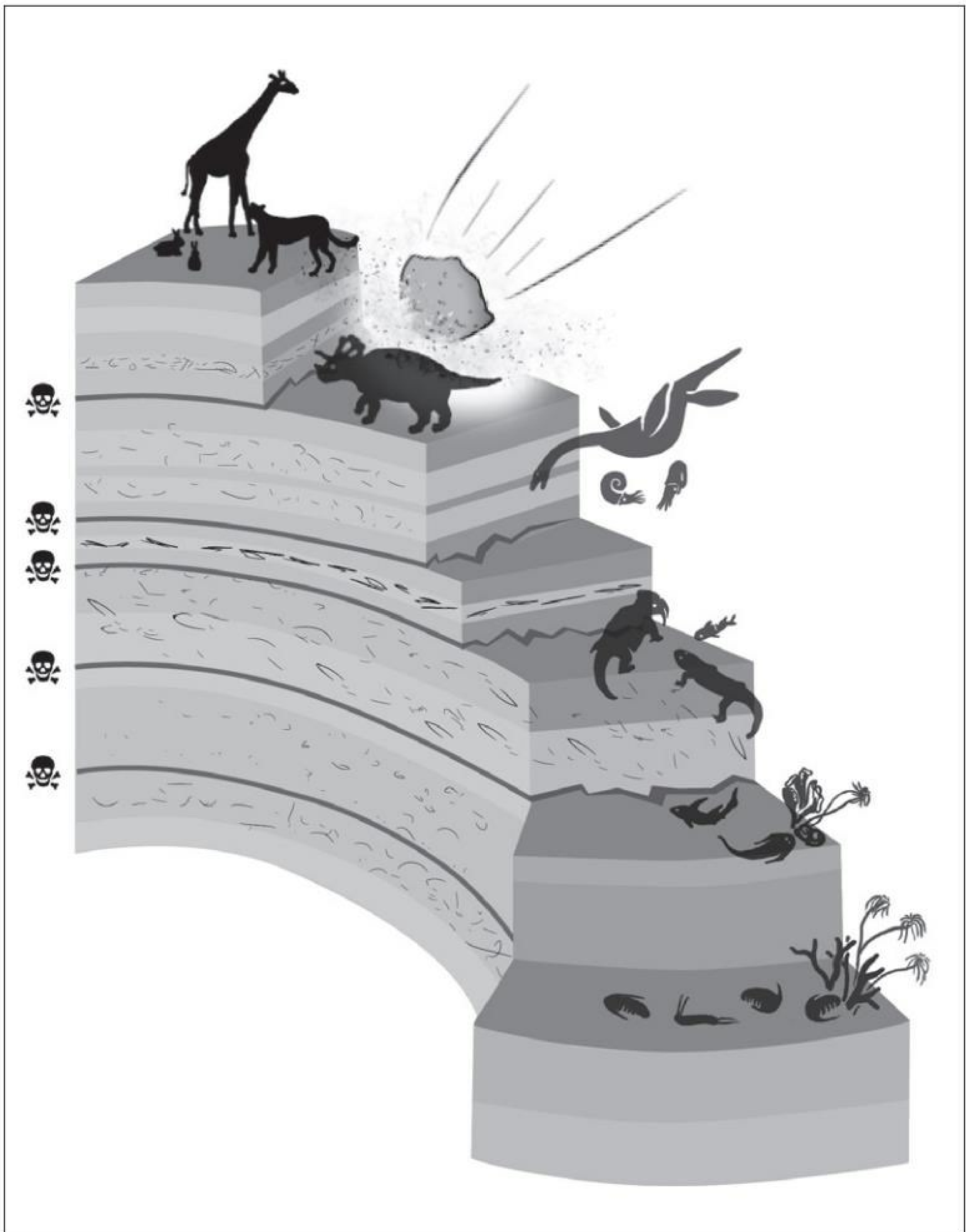
存下来的最佳计策，是使自己的生存区域尽可能广泛地遍布全球。那些分布广泛，尤其是在各个大陆上都有分布的物种，相比那些生存区域较为局限的物种，有着更高的生存几率。

数百万年来，生存与繁育后代一直取决于生物体能在多好的程度上完成捕食、迁移和繁殖等任务。然而，偶尔发生的一次大灾难，会让所有这些特点一下子变得毫无意义。此时唯一有意义的便是它们生活的位置。偶发的大灾变会毁灭一切，并暂时性地改变游戏规则。在灾难中幸存下来的物种，在生态适应性上并不一定就比那些灭绝的物种“更好”。如果生物的终极目标是在大灾变中幸存，那么它们最好的策略就应该是尽可能广泛地散布到全球各地。

大灾难的幸存者们“继承”了一个新的地球——一个竞争者更少的新世界。这有点像那个叫做《越野山峰》的游戏(注)。一个体型巨大又自私的“操场小恶霸”占据着山顶，凭借地形和体型优势牢牢控制着有利位置，无论你怎么努力也很难撼动他的地位。此时你能指望的最好情况是什么？或许是一些偶发性的事件，比如那个玩家的妈妈喊他去吃饭，他不得不离开那个山顶。小恶霸一走，你轻轻松松地爬上山，占据了那里的有利地形。

这个小游戏中的情景似乎也适用于生物界的情况。如果某个成功的物种占据了某一生境，比方说生活在海洋里的一个特定区域里，那么其他生物便很难去占据同一个生态空间了。而如果发生了一场灾难，消灭了生态系统中的“操场小恶霸”，那么幸存下来的物种不用太费劲便可以占据有利位置。

作为站在35亿年生命历史顶端的物种，从人类的角度来看，我们会问：这对于我们来说，意味着什么？



7-3 每一次大灭绝事件都会给幸存下来的物种留下一个全新的地球

我们的搜寻化石之旅通常都很不成功，20世纪90年代我与法里希·

詹金斯一同前往非洲的那次考察也不例外。我们花费了一个月的时间在纳米比亚境内距今2亿年的岩层中搜寻哺乳动物的化石，但却一无所获。最后法里希想要鼓舞一下大家的士气，于是便驱车带着我们一路北上。几天之后，我们发现自己到了埃托沙国家公园[注]，这是一片靠近安哥拉[注]边境的广袤沙漠地带。整片沙漠中零星点缀着一些水塘，它们仿佛是生命的磁石。每天我们天一亮就起床，将车悄悄停在水塘附近，然后在那里坐上几个小时，看着动物们来来往往。最先到来的是鸟类。然后是斑马和水牛。有时会有几只鬣狗[注]在四处晃悠。一旦狮子出现，所有动物就会四散逃开。当它们感觉安全之后，便继续在这里进食、喝水，一切又都恢复到正常的节奏。

我们身处在一个生机勃勃的世界，这里生活着大型哺乳动物和各种鸟类，但我的思绪依旧停留在那些距今2亿年的岩层之中。那时候，整个地球被各种爬行动物占据，哺乳动物不过是老鼠大小、不起眼的小生物，而鸟类则根本不存在。围绕小水塘发生的日常故事中，亦包含着数百万年前的大灾难留下的印记。在大灾难发生前，这些水塘周围分布着一种非常成功的生物——恐龙。这些恐龙大小各异，有植食性的也有肉食性的，它们曾经占据了这些有利生境。在白垩纪，还没有大象和其他大型的植食哺乳动物，只有三角龙和鸭嘴龙；也没有狮子，只有霸王龙和其他体型巨大的恐龙类或鳄鱼类肉食动物。在漫长的时间里，恐龙和它们的近亲一直占据着那座“山顶”，直到它们在一场大灾难中覆灭。直到那时，那些曾经被恐龙踩在脚下、牙齿只有米粒大的老鼠般的小动物们，才开始发展成为那座山顶的新主人。

---

1. 保罗·奥尔森（Paul E. Olsen，1953~），美国古生物学家。
2. 新斯科舍（Nova Scotia），加拿大东南沿岸的一个省份，为该国面积第二小的省份。
3. 霍皮（Hopi）和纳瓦霍（Navajo）都是美国的土著部落。霍皮人保留地位于亚利桑那州东北部，面积约6500平方公里，2010年人口约1.8万人；纳瓦霍是美国联邦政府承认的最大部落，201 1年统计人口超过30万，主要分布在亚利桑那与新墨西哥两州。
4. 芬迪湾（Bay of Fundy），加拿大东部新斯科舍沿岸的一个海湾，这里以全球最高的

海潮而闻名，景色宜人。

5. 沧龙和蛇颈龙都是中生代的海生爬行动物，前者主要繁盛于白垩纪晚期，后者主要繁盛于早侏罗纪；翼龙是一种长有翅膀，能够飞行的爬行动物。

6. 威廉·史密斯（William Smith，1769~1839），英国地质学家，绘制了历史上第一张全国范围地质图。

7. 萨默塞特郡（Somerset），英格兰西南部的郡，北临布里斯托尔湾，主要城市是巴斯与韦尔斯。

8. 巴斯（Bath），萨默塞特郡最大的城市。

9. 约翰·菲利普斯（John Phillips，1800~1874），英国地质学家，编制世界首份地质年代表

10. 乔治·贝拉斯·格里诺（George Bellas Greenough，1778~1855），英国地质学家，伦敦地质学会会长。

11. 居维叶，即乔治·居维叶（Georges Cuvier，1769~1832），法国自然学家、动物学家，为19世纪初最杰出的的自然科学家之一。

12. 居维叶所研究的这个骨骼后来被他命名为“大地懒”。它生活于更新世的中南美洲地区，长可达6米，重约5吨。

13. 猛犸象，又称长毛象，早更新世时曾广泛分布于欧亚大陆以及北美北部，直到大约4000年前才最终灭绝。

14. 托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson，1743~1826），美国开国元勋之一，美利坚合众国第三任总统，《独立宣言》主要起草人之一。

15. 或者说“现在是通往过去的钥匙”。这是地质学的基本思想之一。

16. 科罗拉多大峡谷，位于美国亚利桑那州，长446公里，宽29公里，深达1800米。

17. 堪萨斯是美国西南部的一个州。

18. 诺曼·奈维尔（Norman Newell，1909~2005），美国哥伦比亚大学地质学教授，美国自然历史博物馆无脊椎古生物学部主席。

19. 皮柏第博物馆，即皮柏第自然历史博物馆（Peabody Museum of Natural History），一座耶鲁大学的附属博物馆。

20. 《无脊椎古生物学论文集》（TIP），由美国地质学会与堪萨斯大学出版发行，是一部超过50卷的鸿篇巨著，几乎涵盖了迄今已知的所有现生或已灭绝的无脊椎动物种类。

21. 沃尔特·阿尔瓦雷茨（Walter Alvarez，1940~），美国加州大学伯克利分校地质学家。

22. 劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL），隶属于美国能源部的国家实验室，从事非绝密级的科学性研究，现由美国能源部委托加州大学代为管理。

23. 汤姆·斯科普夫（Tom Schopf，1939~1984），美国古生物学家。

24. 史蒂芬·杰伊·古尔德（Stephen Jay Gould，1941~2002），美国古生物学家，进化生物学家。

25. 伍兹霍尔研究所（WHOI），美国综合性海洋科学研究机构，为世界最大的私立、非盈利性海洋科学研究机构，位于马萨诸塞州伍兹霍尔。

26. 阿加莎·克里斯蒂（Agatha Christie，1890~1976），英国犯罪小说家、剧作家。主要作品包括《无人生还》、《尼罗河上的惨案》等。

27. 杰克·塞普柯斯基（Jack Sepkoski，1948~1999），芝加哥大学古生物学家。

28. 圣母大学（University of Notre Dame），一所私立天主教大学，位于美国印地安纳州。

29. 菊石，一类已灭绝的头足纲生物，大致出现于志留纪末泥盆纪初，后在白垩纪晚期与恐龙同时消失。

30. 大卫·雅布隆斯基（David Jablonski，1953~），美国芝加哥大学教授。

31. 摩尔（Moorish）建筑，一种源自北非地区的建筑风格。摩尔人是古代分布在今天伊比利亚半岛以及西北非地区的居民，信奉伊斯兰教。

32. 《越野山峰》，即“King of the Hill”，一款儿童游戏，玩家要争夺游戏中山顶的位置。

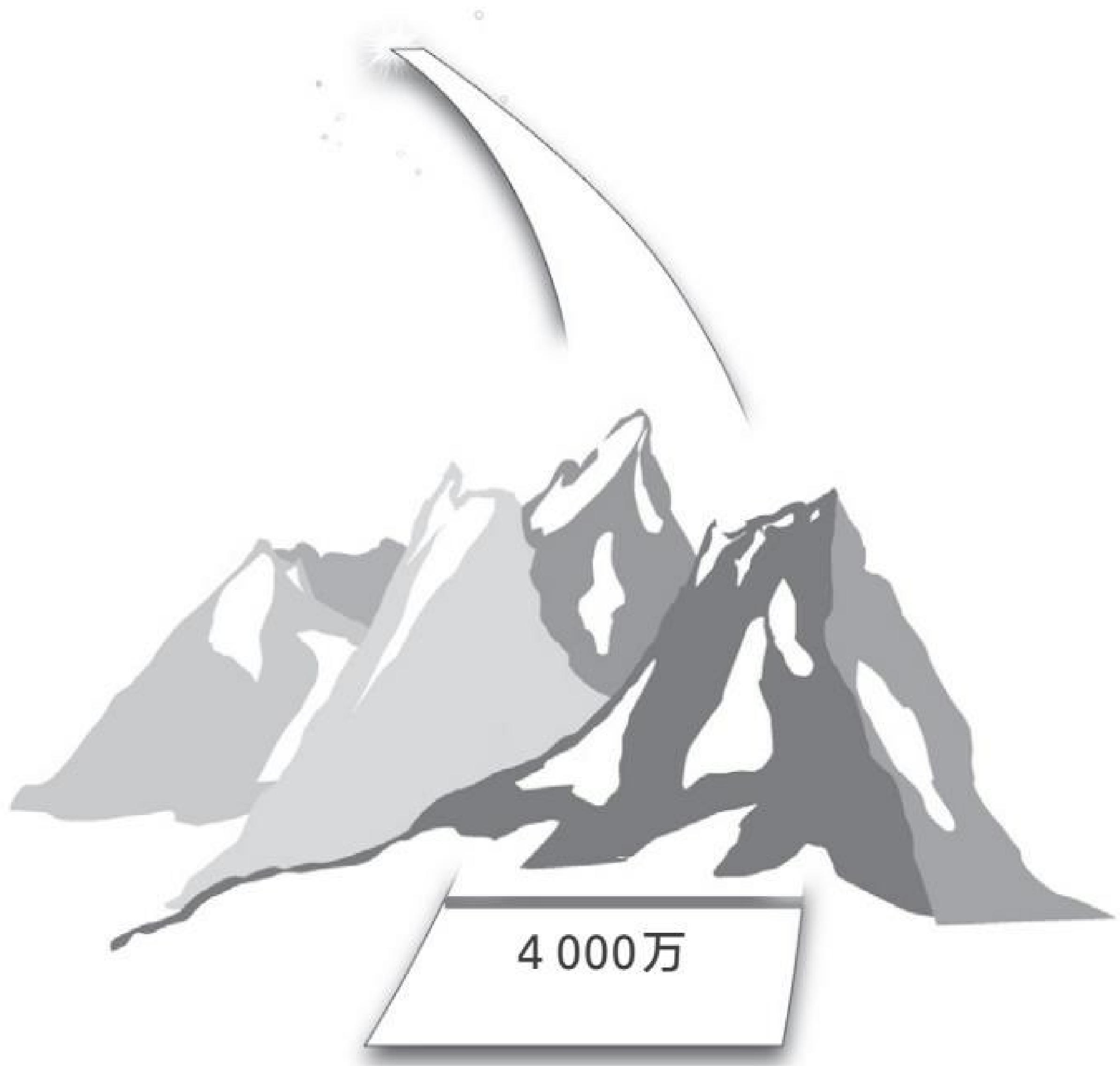
33. 埃托沙国家公园（Etosha National Park），位于纳米比亚西北部，占地超过2.2万平方公里，其历史最早可以追溯到1907年。

34. 纳米比亚和安哥拉都是非洲西南部国家。

35. 鬣狗，为撒哈拉沙漠以南地区最普遍的捕食者之一，会发出很像人类笑声的声音，性情凶猛残忍。

第八章

冷暖交替



在北极执行任务的飞行员是一个特殊的物种。常年的孤独飞行生活

练就了他们高度的独立性和对地形景物的熟悉。在无数个小时的漫长飞行中，他们早已对下面的地形了如指掌，这样的飞行员常常可以辨别出我们普通人无法辨别的东西。在2002年的一次飞行中，我们的飞行员突然来了一个大角度俯冲，直接冲向一个狭窄的峡谷。飞机瞬间从1万英尺（约合3000米）的高度下冲到大约200英尺（约合60米），贴着一道峡湾的水面飞行。我吓得不轻，眼前已经开始一幕幕回放自己的人生，而飞行员其实只是看到了一些鱼群——作为一名钓鱼爱好者，他想贴近去看一看。即便我的眼睛没有闭起来，我也根本不可能从这么高的高度上看到海面下游动的北极鲑鱼群[注]。

1985年，一位名叫保罗·塔基（Paul Tudge）的飞行员驾驶直升机在尤里卡海峡和阿克塞尔·海博格岛[注]之间执行运输任务。这两处都是北极地区景色最美的区域。当天空气清新，地面上也没有积雪，一切都显得格外清晰分明，从数英里之外便能看到远处微小的细节。在北极的这片区域，荒芜的群山倚靠着平缓的峡谷，冰雪、强风以及刺骨的严寒将这里的岩石雕琢成了一片崎岖嶙峋——突兀耸立的石柱、陡峭的崖壁，以及深深的洞穴凹陷，几乎给人一种不真实感。植被的彻底缺乏进一步增强了这种异域感受：这里没有树木，没有灌木丛，甚至连小草都找不到。

飞行员塔基从直升机上俯瞰着下方的棕色、灰色和红色岩层，突然注意到有些东西似乎不同寻常。强劲的风在地表造成严重的剥蚀，形成了一片凹陷区域，其中突兀地矗立着一些看上去像是树木的东西。塔基不相信北极地区会有树木存在，更何况它们似乎是从基岩中直接长出来的，于是他将直升机降落在附近前去查看。结果，在他眼前出现的不仅有树桩，还有大片的树枝、树干，以及露出地表的其他树木的残骸。塔基尽责地采集了一些样品，并将它们送到了萨斯喀彻温大学[注]的詹姆斯·巴辛格[注]——一位研究北极地区植物化石的顶级专家——的手里。看到样品之后的巴辛格立即停下了手头的所有工作，在经费和审批手续到位后，便立即开始筹备实地勘察；当然，在北极地区开展这样的工作，

可能要耗费一年甚至更长的时间。

等待巴辛格的是一整片被掩埋在岩层中，已经成为“木乃伊”的树林。寒冷而干燥的空气让这些远古时期的树木得以保存，树叶和木质部分的结构细节也完好无损，甚至包括其中原始的细胞结构。这些木料甚至还能燃烧，但它们和平常所用的烧烤木炭之间还是存在着巨大的差异——这些树木属于一片4500万年前在这里生长的森林[注]。

暴露在冰天雪地中的树桩表明，这里曾经生长着高度达150英尺（约合45米）甚至更高的红杉树。这片土地在过去并非如此荒凉，它曾经绿意盎然、充满生机，景色和今天的加州北部很像。今天，在靠近北极地区生长的最高的树，就只是一些几英寸高的小“柳树”了[注]。以一米八的身高，要想看到这些北极柳，几乎就跟塔基从空中看到那些化石森林一样困难。



8-1 塔基看到的出露地表的树桩（左），这是一片4000多万年前的森林保存下来的木料（右）

大约在保罗·塔基那次飞行的20年前，著名的古生物学家埃德温·科伯特[注]在他位于美国自然历史博物馆的办公室里收到了一个包裹，里面是俄勒冈州立大学的一位著名地质学家寄来的一个样品。这是一根与人的手指大小相当的骨头，旁边还附了一份非常正式的信件。他的这位同事在野外考察的时候发现了这个样品，想征求一下科伯特对它的看法。

多年来在美国西南部的野外考察经历，让科伯特一眼就认出了这根骨头的类别：它具有一种独特的纹理和形状，是生活在约2亿年前的一种古老两栖动物的一块颌骨。这种动物的外观看起来就像一条肥胖的鳄鱼，在很长一段时期里它们曾广泛分布于全球各地。但这块看似普通的小小骨骼却有着不寻常的来历：它采自南极横贯山脉(注)，距离南极点仅有不到200英里。

作为一位资深的化石猎手，科伯特的心中燃起了火花。这是一个极好的机会：南极是一片从未进行过化石发掘的大陆。科伯特毫不迟疑地组建起一支考察“梦之队”，集中了来自美国和南非的相关领域专家。这些人有着对相应地质时期岩石的长期考察经验，他们拥有能发现新化石的眼睛。如果南极洲的岩层中真的有化石，那么这支队伍就应该能发现它们。

一踏上南极洲的土地，科伯特和他的考察组便立即投入到在这片荒芜之地采集化石骨骼的工作。这里几乎到处都是化石。他们发现了一种与中等体型的狗的躯干相当的生物，但不同的是，它的颌部并不具有食肉动物的特征，而是一个大大的像是鸟类的那种喙。然而让科伯特驻足的并非是这种生物的怪异外形，而是一个更为平常的原因：古生物学家们早在数十年前便已经知道了这种生物。20世纪30年代，南非的地质学家们在卡鲁沙漠(注)的一片宽阔地带中发现了一个地层，整个地层中遍布数以千计这种生物的化石。这个所谓的“水龙兽地层”(注)甚至一直延伸到南美洲、印度和澳大利亚。现在，随着水龙兽化石在南极洲被发现，科伯特和他的同事们找到了证明大陆漂移的又一个证据。根据来自岩石、海岸线以及化石的证据，关于南极洲的一个崭新观点逐渐浮现出来：这片大陆曾经位于一个巨大的超级大陆的核心位置。这个超级大陆包括今天的非洲、澳大利亚以及印度，曾经占据着南半球的广大区域。

除此之外，科伯特的研究组所发现的化石还揭示了有关这片大陆的另外一个事实。水龙兽，和另外那种吸引科伯特来到这里的两栖动物一

样，都属于冷血动物，它们只有在温暖的热带或亚热带气候条件下才能生存，就像我们今天所见的大型蝾螈或蜥蜴那样。植物化石方面也是如此。科伯特和同事们在一片巨大冰冻大陆的腹地开展工作，60年前斯科特和他的探险队员们就在附近不远处被活活冻死。但岩石中所有的化石证据都指向一个结论：南极洲曾经是一片温暖潮湿的大陆，生活着大量热带的动植物。

在科伯特之后的考察工作陆续发现了更多证据，证明今天的南极洲与它葱翠的过去之间存在着截然差异。在科伯特所发现的这个世界之后，出现了一个由恐龙和它的近亲统治的世界。而在年代更近的岩层中，距今4000万年之前，这片位于热带的大陆曾经是雨林、两栖动物、爬行动物、鸟类以及各种哺乳动物的家园。在历史上的大部分时期，南极大陆都是生命的天堂。

之后，大约从3000万年前开始，这片大陆开始进入冰冻期。相比其他大陆，南极大陆经历了地球历史上最大规模、最为彻底的生物大灭绝。这里曾是一个动植物物种都很丰富的大陆，但在冰冻期后，所有的陆地生物几乎全部消失了。

塔基在北极的飞行以及科伯特在南极的远征，这两者之间存在着某种有趣的对称性：前者在北极发现了温带森林的遗迹，后者在南极发现了热带动物的化石。发生在两个极地的故事也正是我们整个行星的故事。我们所生活的现代——在两极地区存在冰盖——是不寻常的。我们的这颗星球在历史上大部分时期都是温暖甚至是炎热的。如果世界各地的岩层是一块放大镜，那么它们所揭示的事实便是：我们今天相对寒冷的气候，并非这颗行星气候的正常状态。

然而在这段异常的寒冷时期，却发生了一个重大事件，它塑造了我们的身体、我们的世界以及让我们目睹这一切的能力。

温度

卡尔·萨根曾经论述过存在于我们这颗行星气候历史中的一个佯谬。太阳的亮度并非是恒定不变的：大约46亿年前在太阳诞生的早期阶段，它的亮度相对较暗，但自那之后其亮度便不断增强；目前太阳发出的光和热要比它初生之时多出大约30%。既然太阳的热量增长幅度如此显著，地球在过去就应该是一个冰球，而现在则应该是一个连地壳都完全熔化的大坩埚。然而我们所发现的所有证据都指向一种完全不同的情形。在本应如地狱熔炉一般的今天，地球上却存在着冰川；在距今30亿年的古老岩石中发现了液态水的痕迹，而当时的地球理应是一个完全冰封的星球。确实，地球上的温度也会有冷热变化，但如果你想一想，金星的平均气温是华氏900度（482摄氏度），而火星的平均气温则为华氏-81度（-62摄氏度），相比之下地球就是一个气候稳定的伊甸园。在地球上的某个角落一定存在某种恒温器，保护着地球不受极端气温的侵扰。

在寻找恒温器方面的首个进展，来自于一名既坚持不懈又非常顽固的学生。在开始攻读研究生学位时，他向自己的论文导师声称，自己发现了一种新的电导率理论。这种狂妄自大得到的反应是一声“再见”。然而坚持终究会得到回报——或许这也让他的老师们大舒一口气——在1881年，斯凡特·阿伦尼斯[注]去了斯德哥尔摩[注]，跟随瑞典科学院的一名教授继续学习。在那之后，阿伦尼斯便开始思考其他一些科学问题。

在阿伦尼斯眼前正好就有一个科学谜团。他目睹了工业革命时代的大批工厂将大量黑色浓烟排放入空中——用他的话来说就是“把我们的煤炭蒸发到空气里”。这些浓烟中的一个重要组成成分是二氧化碳，阿伦尼斯从先前的工作经验中知道，二氧化碳可以捕获热量。他进行了一些计算，揭示大气中二氧化碳含量的增长将会如何导致热量在地球上的积聚，并引发全球升温。但这一理论在之后的很多年间都被冷落一旁。在此期间，阿伦尼斯获得了诺贝尔奖，而让他获奖的工作正是那篇看上

去糟糕透顶、让他的教授们嗤之以鼻的博士论文。

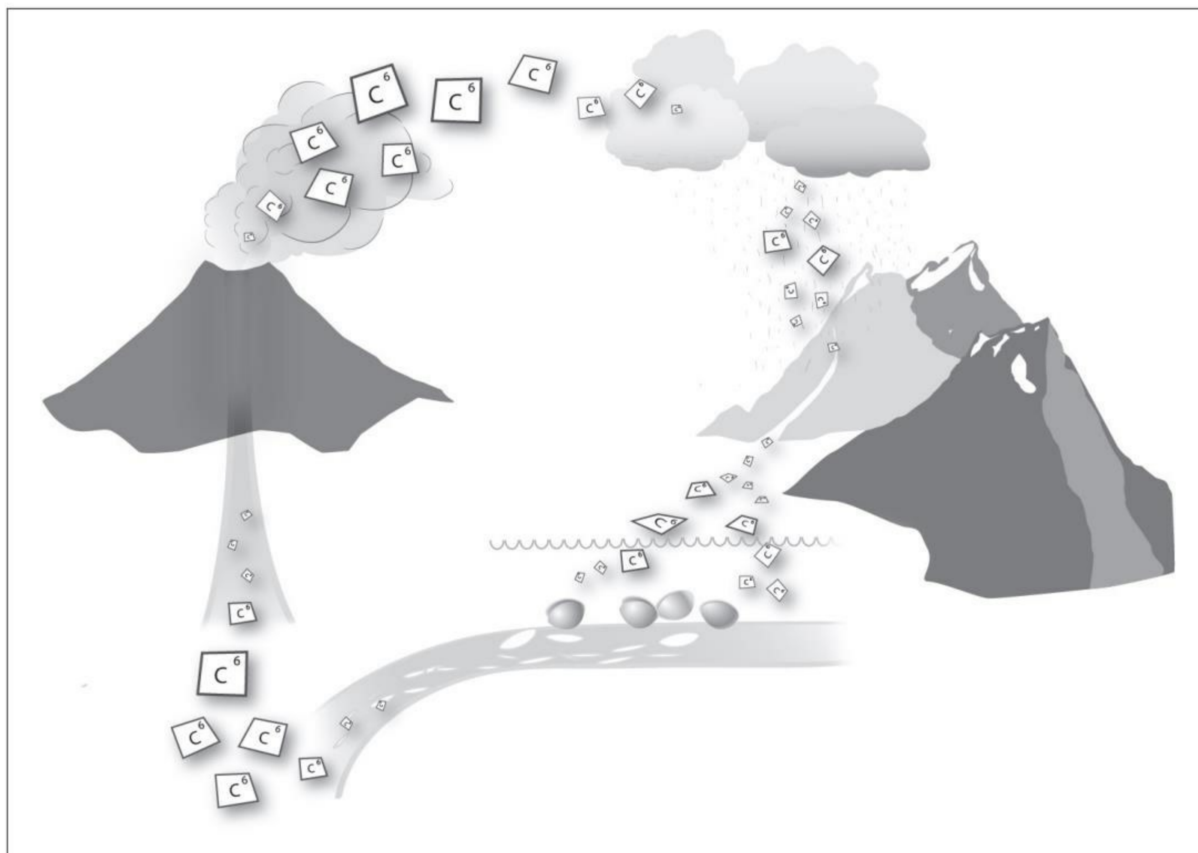
著名的温室效应理论正是基于阿伦尼斯的工作。大气中二氧化碳的含量越高，行星就会蓄积越多的热量，气温也开始相应地上升。当然反过来也是成立的。然而碳对于大气还有着更加深远的意义，这种意义只有在长达数百万年的时间尺度上才能显现。

曾经一度家喻户晓的电视人物阿尔奇·邦克[注]说过一句非常有名的评价啤酒的话："你并未拥有，你只是租借。"[注]这句话同样适用于我们体内的每一个原子；我们只是组成我们身体物质的暂时拥有者。这其中对于维持生命乃至这颗行星的平衡最为重要的成分之一便是碳。地球不同部分之间的相互联系，取决于碳元素如何在大气、岩石、水以及生命体之间循环。要想了解这一循环链条，我们不能将生命、岩石和海洋视作各自独立的单元，而是要将它们视为碳元素在地球演化的漫长过程中暂时逗留的中转站。

从这一角度观察，大气中的碳含量取决于各种条件之间的精细平衡。空气中的碳与水汽相结合，以稍显酸性的降雨形式落到地面上。我们每天都能看到这种现象导致的后果：在我工作的大学里，那些建于19世纪的石像鬼[注]已经很少能分辨出面目。酸雨侵蚀着所有暴露在外的岩石——在山区，在砾石滩，在海边的悬崖，在所有的地方。一旦酸雨腐蚀了岩石，其中溶解了大量钙质的水体便会逐渐汇入溪流，并最终流入大海。在海里，这些钙质与生物体相结合——包括贝类、鱼类以及浮游生物。这些富含钙质的海洋生物死后的遗体沉入海底，并最终成为海底的一部分。而早在玛丽·萨普、布鲁斯·希森和哈里·赫斯的时代，我们便已经知道，海底是移动的，最后会循环进入地球的深部。

这一机制将从大气中去除二氧化碳，将它们从大气中带入高温的地球内部。但如果只有这种机制，那么大气中的二氧化碳就会被消耗殆尽了，地球也将从此成为一个没有大气绝缘保护的冰冻星球。好消息是，

二氧化碳存在着一个循环补偿机制。地球内部的二氧化碳会通过火山爆发的形式重新被释放到大气当中。这就是我们所呼吸的空气中大部分二氧化碳的长期来源：酸雨和岩石的风化作用清除了大气中的二氧化碳，而火山爆发则将二氧化碳重新带回大气。火山爆发一般会释放出巨量的水汽、二氧化碳和其他气体；一些估算结果显示，火山爆发每年会向大气中释放出超过1.2亿吨的二氧化碳。



8–2 碳的长期循环：火山爆发将二氧化碳释放进入大气，在大气中与水汽相结合，以酸雨的形式降落地面，腐蚀岩石，最后汇入海洋；而后板块运动将碳沉积深深带入地球内部，最终经由火山爆发重新回到大气当中。

如同连锁反应中的每一步都可以理解，但最终的结果却出乎意料一样，我们从碳的循环过程中得到的结论是：岩石的侵蚀与气候之间存在关联。降低大气中的二氧化碳浓度将会导致全球降温。另一方面，那些导致大气中二氧化碳含量上升的行星事件——增强的火山活动或大气中二氧化碳去除过程的减速等——自然将引发全球气温的上升。因此，在

所有其他条件相同的情况下，岩石侵蚀作用的增强将会导致降温，反之则会引发升温。被酸雨腐蚀的岩石，就像一块巨大的海绵，不断地从大气中去除二氧化碳。

碳的循环将岩石与气候联系在了一起，并最终回答了卡尔·萨根有关太阳的佯谬问题。碳分子在大气、雨水、岩石以及火山之间的迁移，让地球的气温得以维持在一个狭窄的范围。温度升高会增加岩石的侵蚀，而这又将导致更多二氧化碳被从大气中移除，气温也便随之下降；之后，随着温度变低，整个循环体系又开始向反方向进行：气温下降导致岩石侵蚀作用的减弱，于是大气中二氧化碳含量上升，从而导致气温升高。正是由于这种平衡关系，液态水才得以在地球上持续存在：如果没有这种机制，无论是我们本身还是我们的意识都不可能存在。然而，液态水就像矿工的金丝雀[注]——过多或是过少，都表明地球的运作机制发生了改变，而这也将会影响地球气温的高低。

大约3000万年前，地球的两极开始陷入冰封，当时究竟发生了什么？在这一从热到冷的转变发生的同时，大气中二氧化碳的含量出现了急剧的下降。然而这里存在一个问题：究竟是什么造成了当时大气中二氧化碳含量的大幅下降？

莫里恩·莱默[注]在大学里学习气候学以及可能对气候产生影响的相关地质学内容。和阿伦尼斯一样，她的论文同样遭到了导师们的批评。其中一位导师甚至评价她的博士论文是“完全的胡言乱语”。

莱默的科学之路和很多研究生一样：她听了很多相关课程，以充实本领域的基础知识。在20世纪80年代的地质学讲座中，一项很热门的话题便是有关全球碳循环和地球恒温机制的问题。当时有一篇非常经典的论文，几乎每个相关专业的学生都专门读过。这篇由罗伯特·贝纳、安东尼奥·拉萨噶以及罗伯特·加里尔[注]执笔的文章，详细论述了碳循环和地球恒温机制之间的关系。文章因为广受欢迎而被亲切地称

作“BLaG”——这是三位作者英文名的姓氏首字母。当时每个人都在读BLaG，每个人都在用BLaG作为判断依据，尽管所有人，包括BLaG的几位作者本人都清楚地意识到，这一美妙模型中还有一些关键的细节尚需填补。

莱默所上的课中就有详细讲述BLaG文章的内容。她同时还修了有关现代河流与造山运动乃至板块构造的课程。但是与我们这些仅仅坐在那里听课的人不同，她开始将不同的线索连接在一起。

所有人都知道，地球的气温大约从4000万年前开始出现显著的下降，然而却没有哪个已知的地质学机制可以造成如此显著的变化。究竟是什么造成了气温的下降？有一点可以确定：只有大规模的全球性机制才可能从大气中去除足够多的二氧化碳，从而造成如此剧烈的降温过程。

于是莱默将目光投向了整个地球，同时在脑海中思考着板块构造的理论。她意识到，这一急剧降温的阶段正好与地球历史上另一段不寻常的时期相吻合——当时正是印度板块开始与亚洲大陆发生冲撞的时期，而在此之前这块大陆已经向北运动了数亿年之久。两者发生冲撞的结果，就好比在桌面上让两张纸相向滑动，当它们迎头相撞时便会发生挤压并产生褶皱。一个相似的过程曾出现在两块大陆的碰撞中，它导致了喜马拉雅山和青藏高原的隆升。

莱默的第一导师（不是将她的论文称为“胡言乱语”的那位）当时在思考的问题是：一个崭新山脉的形成将会如何影响全球风带或风暴的形成？而莱默则在思考：一个规模巨大的山脉和高原如何对地球的恒温机制产生影响？

青藏高原是一片几乎完全裸露的广袤的岩石地带。它占据了地球表面全部裸露岩石面积的82%，并且高达海拔1.2万英尺（约合3600米）。随着这样一个高原的逐渐形成，其地表受侵蚀作用的岩石数量将会大大

增加。在我们大部分人眼里，喜马拉雅山是一道雄伟壮丽的山脉；而在莱默眼中，它则是一台巨大的吸尘器，正不断地从大气中吸取大量的二氧化碳，再由河流将碳搬运到大海。青藏高原的隆升，标志着地球从温暖气候时期向寒冷气候时期的转变。这一过程是通过岩石的风化将二氧化碳从大气中去除而实现的。

莱默的理论解释了大量的数据，然而想为这样的一个理论赢得支持，并不像解数学证明题那么简单，而像是要仅仅依靠间接证据来打赢一场罪案：只有找到大量能相互印证的独立证据才能让事情尘埃落定。莱默做了一个非常具体的预测：只要设法对青藏高原的隆升以及岩石的风化速率进行测量，并将其与大气中二氧化碳含量水平的变化进行对比，就可以证明这一理论。古代的岩石中隐藏着地形高度计——那些对海拔高度敏感的植物。随着高原逐渐隆升，大气中二氧化碳的含量水平下降，但我们仍然缺乏将所有这些变量结合在一起进行验证所需的精度。单单青藏高原的侵蚀风化作用，是否已经足以解释我们所观察到的气候变化？或者是这一机制与其他我们尚未察觉的机制的共同作用造成了这样的结果？

4500万年前，世界的版图正处于变化之中，维持生命生存的环境同样在发生改变。印度次大陆撞击亚洲大陆标志着一个新时期的开始：大气中二氧化碳水平不断下降，全球气温逐渐降低。但南极大陆冰冻时间进程的一些细节，暗示着还有其他一些起作用的因素。4000万年前，南极大陆的气候环境逐渐从热带雨林转变为类似今天巴塔哥尼亚地区[注]的样子。之后，大约3000万年前，南极大陆的动植物种类开始衰减，一直到大约2000万年前，最初的一批永久性海冰形成了。此时幸存的植物种类主要是那些低矮的苔原带植物。到了距今1000万年前，南极终于成为一片不毛之地。

观察一下世界地图，你会注意到北半球的大多数地方都是以棕色表示的大陆，而南半球则大多是蓝色的大海——地球的北半部分主要由巨

大且相连的大陆组成，而南半部分则主要是海洋。就在这简单的海陆分布模式之中，隐藏着有关地球变冷、南极大陆的生命销声匿迹以及人类历史上大部分环境变化的线索。

20世纪70年代早期，当板块构造理论已经得到普遍接受时，仍然有一片广袤海域的海底几乎完全未被涉足，这片海域便是南大洋[注]。这里曾因那些伟大的南极探险家——罗伯特·费尔康·斯科特、恩斯特·沙克莱顿[注]和罗纳德·阿蒙森——而闻名于世。狂暴的海洋将南极的冰山和荒芜的岩石岛屿与世隔绝，事实上这片位于南纬40~70度之间的暴虐大洋甚至还有专门的“昵称”：“咆哮的40度，暴怒的50度，尖叫的60度”。这里是最晚进行洋底取样分析的区域，原因很简单：强劲的海流和狂风让这里成为了禁区。

曾支持希森与萨普等人工作的海洋测绘团队，在顺利完成对大西洋和太平洋海区的钻探取样任务之后，便开始在南大洋海区开展工作。从1972年到1976年，考察队在这片海域的26个位置上进行了钻探取样，采集洋底的沉积物。每个采样钻位都是在出发前根据海图精心选出的，缆车将从这些钻位钻取的岩芯从洋底吊装上船。采集上来的每一块岩石都经过了化学分析以确定其年龄和来源，科学家们据此绘制出了这片洋底的结构图，就像10年前玛丽·萨普与布鲁斯·希森在大西洋所做的那样。

这些从洋底获取的岩芯改变了我们对南方大洋的认识。整个南极大陆被一圈拥有熔融内核的巨大裂谷包围。与大西洋底的裂谷一样，这里也同样是新生洋底诞生的地方，整个洋底实际上在不断扩张。至此，包含在大陆的海岸线形状以及科伯特发现的水龙兽之中的关于地球南部的谜团，已经完全清楚了：在过去的某一时期，整个地球的南半部分是一片巨大的超级大陆，包括今天全部的南方陆地：南极洲、澳大利亚、南美洲以及非洲。今天遍布整个南半球的蓝色海洋，在当时并不存在。

之后，随着这条围绕南极大陆的火山环出现，南方大陆开始分裂并

逐渐相互远离。当时同时发生了三件事：非洲、澳大利亚以及南美洲向北漂移；南极洲单独留在了最南端位置；一片连续的海洋出现，将南极大陆与其他所有陆地分隔开来。对于那些生活在南极大陆上的生命来说，这其中没有一条是好消息。

正如孤立状态对人没有好处一样，对南极大陆来说这也不是什么好事。随着南极周围各个大陆相继远离而去，围绕着南极大陆形成了自东向西流动的完整环流，这些洋流困扰了航海家们很多年。海洋是传输热量的重要途径。举个例子，英国的纬度与拉布拉多[注]北部相仿，但前者气候温和，而后者却极度严寒。原因是什么？因为来自赤道的暖流向北流动，给英国带去了温和的气候，而在大西洋的西岸却并不存在这样的暖流。在南极大陆被隔绝之前，来自赤道的暖流会将热量带到这里。当南极大陆与其他南方大陆分离开之后，这条输送热量的纽带便被切断，取而代之的是一个封闭的环流。这一转变解释了南极的变冷：南极大陆自身所保存的热量逐渐散失到空气之中，却得不到任何来自暖流的热量补充。生活在这里的生命要么被活活冻死，要么就要想办法逃离。

世界海陆布局的变化改变了气候和生命。漂移的大陆和扩张的海底给海洋循环、侵蚀和大气中的二氧化碳含量带来了全新的模式，继而为一整个大陆带来了厄运。这一影响极其深远。

视觉的起源

人类是视觉动物，天生可以从杂乱无章的世界中发现模式。像保罗·塔基那样在无人区执飞的飞行员，拥有经过特别训练的眼力，可以在飞行中发现细微的物体。孩子们能够在拼图或图案中找出隐藏的形状，飞钓者[注]能够通过观察溪流下的光影判断水流，放射科的专家能够通过观察影像诊断病情：从身边的混乱嘈杂中找出其中隐藏的模式，是我们这个物种的生存之道。这种能力就在于我们眼睛与大脑间的互动之中：

它帮助我们学会观察、生存并兴旺发达。

我们生活的世界是如此色彩斑斓，以至于我们会很容易忽略一个事实，即：我们所感知到的色彩，只是呈现在眼前的全部色彩中很小的一部分。照射到我们身上的光线拥有宽广的波长范围——从紫外波段一直到红外波段。像夜视仪这样的装备也只是帮我们稍稍扩展了一点可感知的光线波段，而其他一些动物却生来便可以感知到广阔得多的色彩范围。鸟类和某些鱼类对蓝色的深浅差异要比我们敏感得多。每一种生物——无论是老鹰、鳟鱼还是人类，都会以特定的方式去经历与感知它周围的世界。而我们的这种知觉则根植于那令地球的极地陷入冰封的力量。

人类的眼睛与其他哺乳动物的眼睛一样，在其后部有一块邮票大小的区域，叫做“视网膜”，其作用是接收经过晶状体聚焦的光线。在视网膜上有大约500万个特殊的细胞，它们就像是一个个微型感受器，可以感受红、黄和蓝三种颜色——这是光的三原色。这些细胞之所以具备这样的能力，是因为其内部有一些特殊的蛋白质。一旦感知到特定颜色的光线，这些蛋白质的形状便会发生变化。视网膜上的细胞可以区分大约100种不同的光线明暗度。当这些信号抵达大脑时，它们就会被结合起来，从而让我们可以分辨大约230万种不同的颜色。

我们在旧世界[注]的灵长类近亲——猴子、大猩猩、黑猩猩和猩猩——可以看到同我们一样多的颜色。它们的视网膜细胞中也拥有与我们相似的、用于感知颜色的特殊蛋白。而那些与我们的亲缘关系较远的灵长类——如生活在南美洲的那些——则并不完全具备这样的色觉：在某些种类中，其雄性完全是色盲。早在19世纪，灵长类动物学家便发现，在灵长类的家族谱系上存在着一个明显的分叉：所有旧世界的灵长类都拥有完全的色觉，而这一特征在它们新世界的近亲们身上却缺失了。在两者的生活方式中是否也存在着某些差异，可以解释这种在颜色识别方面的不同呢？

有关此问题的第一个线索来自一项惊人的发现。吼猴[注]是一种名副其实的灵长类动物，拥有非常独特的叫声，仿佛是动物界的送葬者。伟大的探险家亚历山大·洪堡[注]在19世纪曾这样描述这种动物："它们的眼神、声音和步态都显示出一种郁郁寡欢。"20世纪90年代，科学家们在对吼猴的行为和视觉结构进行研究时发现，与其他生活在南美洲地区的猴类不同，吼猴拥有生动的颜色视觉。它们日常进食的食物也与其他南美洲的猴类存在着巨大的差异：所有其他猴类主要以果实为生，而吼猴的食物却是树叶。

这项发现启发了一位年轻的研究生纳撒尼尔·多米尼（Nathaniel Dominy），他曾是约翰·霍普金斯大学的足球运动员。他开始以一种新的视角去思考颜色视觉是如何产生的。他猜想，或许吼猴的案例是具有普遍性的，在饮食方面的差异可以用来解释，为何在家族谱系树上我们这一支灵长类能够识别颜色。

乌干达西部的基巴莱国家公园[注]位于一片茂盛的常绿和落叶混杂森林地带。这里生活着花豹、犀鸟[注]和非洲森林象——后者是一种体型较小且毛发较多的大象。这一地区还生活着种类异常丰富的灵长类动物：有13种灵长类动物——包括黑猩猩在内——将这里作为自己的家园。

基巴莱国家公园同样也是第14种灵长类动物——人类——的家园。这些人驻扎在这里的马凯雷雷大学生物学野外考察站[注]，研究着他们的灵长类近亲。1999年，多米尼也来到了这里，他的目标很简单：观察这里的猴类进食。

多米尼和他的研究导师皮特·卢卡斯（Peter Lucas）有一个计划：他们打算观察这片保护区内所有种类的灵长类动物，并精确记录它们所吃食物的种类以及进食的时间。如果它们的进食习惯中存在某种模式，那么他们就要把它找出来。他们的研究小组并不只是带了笔记本，还带来了一个小型的"背包实验室"。在他们此后发表的一篇论文中对这一工具

进行了描述，该论文的标题是：《用于测定灵长类潜在食物的物理、化学及空间特征的野外工具包》。这个工具包中有：一台用于测定食物韧性强弱的物质测试仪；一台用于定量测定食物颜色及其基本营养成分的分光计；以及一系列用于记录猴子们所吞下任何东西的形状和分量的小型设备。

多米尼、卢卡斯和其他研究组成员花费了10个月来观察这些灵长类动物。在没有当地匪帮或恐怖分子威胁骚扰的时间里，他们每天24小时轮班工作，一共累积了1170小时的观察记录，直到最后不得不撤退到美国驻乌干达大使馆。他们观察动物们吃下某样东西，等它排泄后便上前用背包中的实验设备对其排泄物进行分析记录。最后他们发现，这些猴子食用的植物多达118种。

回到美国后，他们对此行采集的数据进行了分析，一种模式逐渐从结果中显现出来——那些拥有颜色视觉的灵长类动物，更倾向于食用在红-绿色标上有变化的树叶。这就是说，它们在根据颜色对食物进行区分，而这种差异是那些缺乏颜色视觉的动物们甚至根本无法感知到的。那么它们利用自己的颜色视觉选择了什么样的食物呢？分析结果显示，它们所选择的食物基本上是蛋白质含量高且韧性较小的种类。这些灵长类动物的妈妈们一定很欣慰：它们的孩子们吃的都是些营养丰富并且易于消化的食物。而对应于这种食物的最大颜色线索——红色，是只有那些拥有完全颜色视觉的种类才可以分辨的。

对于多米尼和他的同事们来说，一个假说逐渐形成了：颜色视觉让动物们得以分辨不同种类的树叶，并从中发现最有营养的种类。当植物随气候的转变发生相应变化的时候，这种能力的优势便显现出来。

有关颜色视觉的更多线索隐藏在DNA之中。缺乏颜色视觉的哺乳动物只有两种用于感知颜色的蛋白质，而拥有颜色视觉的人类及旧世界的猿类则拥有4种颜色蛋白质。1999年，随着DNA技术变得更为便宜可靠，人们首次得以直接测定这些蛋白质的内部结构并进行对比研究，从

而一窥它们化学结构的内部细节。在这些基因序列的排布中，潜藏着颜色视觉起源的线索。赋予我们颜色视觉的4种蛋白质，是其他哺乳动物视网膜内那两种蛋白质的复制品。将新旧蛋白质的DNA序列进行对比，我们便能大致判断出这种复制大约是在何时发生的。所有拥有这4组基因的生物都可以追溯到大约3000万~4000万年前，这就是我们的猿类祖先最早开始拥有颜色视觉的可能时间。

当这种基因变化出现的时候，这颗行星上正在发生什么？地球正在变冷。南极和北极地区的森林开始凋零，并逐渐被冰雪替代。草原向世界各地扩展，不断占据着新的地区。果实丰富的棕榈树和无花果树数目骤减，森林中只剩下了树叶——有些坚硬，有些柔软，有些营养丰富，有些则完全不能食用。让今天生活在乌干达基巴莱国家公园的灵长类们受益匪浅的颜色视觉，在那个全球气候变冷的年代曾是帮助它们生存下来的关键。变冷的气候带来了全新的植物种类，在分辨这些植物上，那些拥有颜色视觉的物种占据了优势。

保罗·塔基在广袤的荒原上发现了微小的残存树桩，古生物学家们在野外大片的岩层中寻找微小的化石，而我们的灵长类祖先凭借颜色视觉从森林里大量的树叶中找出营养丰富的食物，从而适应了气候的转变。当你欣赏斑斓的色彩时，记得感谢印度次大陆撞击了亚欧大陆，感谢那些远离了南极洲的陆地，感谢那已成冰封之地的荒芜极地。而深藏在这一切背后的终极原因，便是碳原子在地球上的循环之路。

---

1. 北极鲑（arctic char），主要分布在靠近北极圈附近的区域的一种鲑鱼，肉质鲜美。
2. 尤里卡海峡（Eureka Sound）和阿克塞尔·海博格岛（Axel Heiberg Island）均位于加拿大北部，属于北极地区。
3. 萨斯喀彻温（Saskatchewan）是加拿大的一个省，位于加拿大中部。
4. 詹姆斯·巴辛格（James Basinger），加拿大极地植物学家。
5. 阿克塞尔·海博格岛上的这片“木乃伊森林”是被完整保存下来的远古树木，这与更常见的所谓硅化木是不同的，后者的木质部分已经被硅质替换，成为“石头”。

6. 北极柳（Salix arctica），一种分布在高山冻原和北极冻土苔原带的耐寒植物。

7. 埃德温·科伯特（Edwin Colbert，1905~2001），美国脊椎古生物学专家。

8. 横贯南极山脉，南极大陆的三个主要山脉之一，总长度超过3500公里，是地球上最长的山脉之一，它将南极洲分为东南极洲与西南极洲，平均海拔达4500米。

9. 卡鲁沙漠，南非境内的一片广袤的干旱，半干旱区域。

10. 水龙兽，一种已灭绝的古代爬行动物，主要生活在距今大约2.5亿年的二叠纪晚期到三叠纪早期。

11. 斯凡特·阿伦尼斯（Svante Arrhenius，1859~1927），瑞典物理学家，化学家。物理化学学科的奠基人与开创者之一。

12. 斯德哥尔摩，瑞典首都。

13. 阿尔奇·邦克（Archie Bunker），20世纪70年代美国最流行的情景喜剧《全家福》（All in the Family）中的人物，由演员凯勒·欧康纳饰演。

14. “你并未拥有，你只是租借”，原文是“You don't own it, you rent it”。

15. 石像鬼（gargoyles），即“滴水嘴兽”，建筑输水管道喷口终端的一种雕饰。

16. 矿工的金丝雀，当年英国的煤矿工人发现金丝雀对煤矿瓦斯非常敏感，因此下矿井时会带着金丝雀，用来预防中毒。这里是说液态水对地球的整体系统变化非常敏感。

17. 莫里恩·莱默（Maureen Raymo），美国古气候学家，海洋地质学家，任职于哥伦比亚大学。

18. 此三人均为美国科学家，在地球碳循环研究方面有重要贡献。

19. 巴塔哥尼亚（Patagonia），位于南美洲南部，主要位于阿根廷境内，以凉爽的草原气候为主。

20. 南大洋（Southern Ocean），又称南冰洋，是指围绕南极大陆存在的广袤海洋，包括传统上太平洋、印度洋、大西洋的一部分。2000年被划为独立大洋，但学术界仍有不同意见，中国学界则不予承认。

21. 恩斯特·沙克莱顿（Ernest Shackleton，1874~1922），英国极地探险家，曾三次率领英国探险队远征南极，月球上一座陨石坑以他的名字命名。

22. 拉布拉多（Labrador），位于加拿大东北部，为该国纽芬兰-拉布拉多省的北部地区。

23. 飞钓（fly fishing），有时候也被译作“飞蝇钓”，是一种利用特殊诱饵和钓竿挥舞技巧钓鱼的方法，在西方较为流行。

24. 旧世界，传统上是指非洲、亚洲以及欧洲大陆，也就是欧洲人发现美洲大陆之前所知道的“世界”范围；相对而言，美洲便被视作“新世界”。

25. 吼猴，一类主要产于南美洲地区的猴类，以响亮的叫声著称。

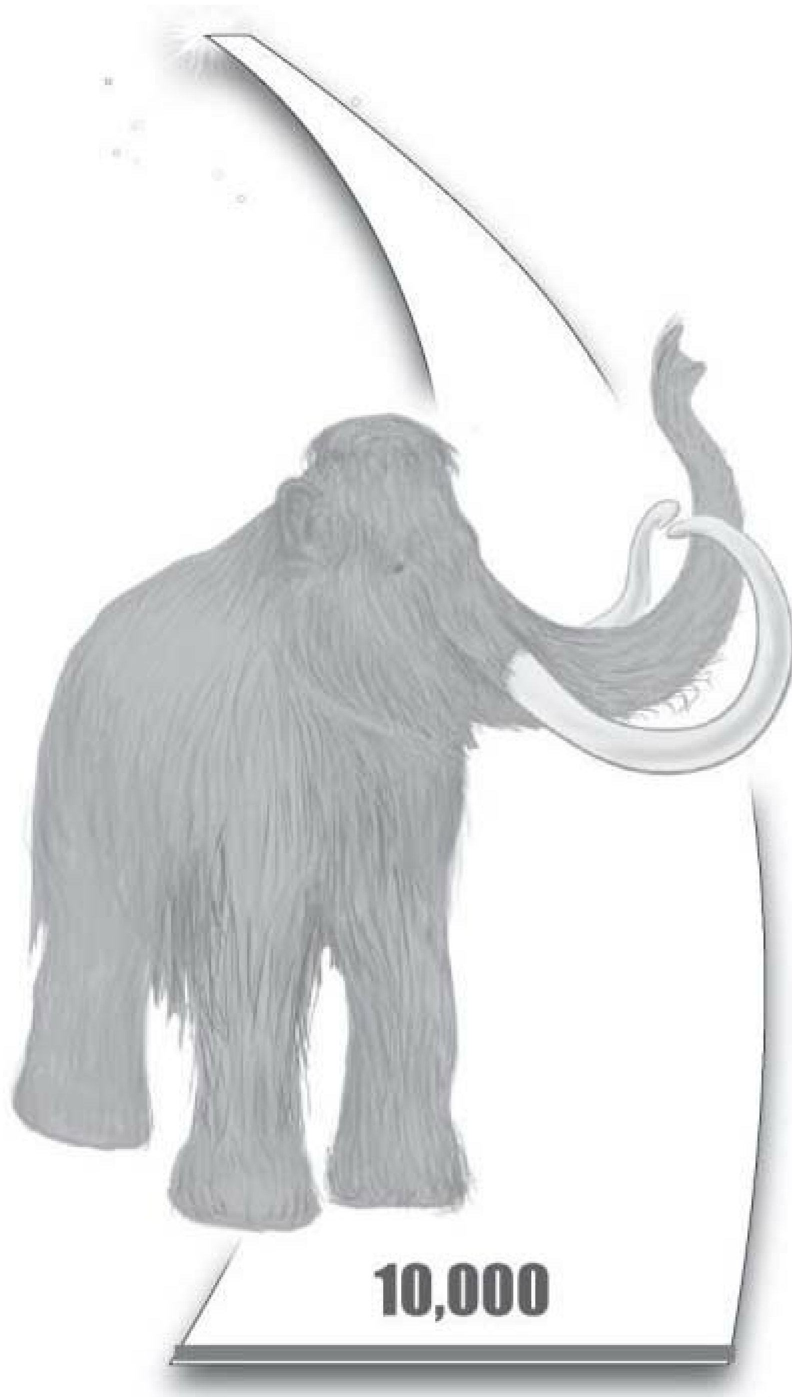
26. 亚历山大·洪堡（Alexander von Humboldt，1769~1859），德国地理学家、自然学家、探险家，被誉为“自然地理学之父”。

27. 基巴莱国家公园（Kibale National Park），位于非洲乌干达西部，占地776平方公里，成立于1993年。

28. 犀鸟，分布在非洲撒哈拉沙漠以南地区和南亚、东南亚热带地区的大型鸟类，色彩绚丽，我国南方部分地区也有分布。

29. 马凯雷雷大学（Makerere University），乌干达规模最大，也是历史第二悠久的高等学府，成立于1922年。

第九章
冰冷事实



我们飞机的地速(注)只有每小时30英里，我觉得我们几乎要从天上掉下去了。由于迎面而来的风力非常强劲，从冰岛首都雷克雅未克出发飞往格陵兰岛东部，全程500英里的飞行几乎要花上半天的时间。我们所乘坐的是一架德·哈维兰双水獭飞机(注)，这是北极地区的主要交通工

具。由于这种飞机的失速速度每小时仅55英里，并且安装了巨大的充气轮胎或滑雪板起落架，因此可以在北极偏远谷地遍地碎石的苔原或冰原上降落。狭窄的机舱里只能容纳4名乘员，外加飞行员和我们携带的装备。挤在这狭小的空间里，我只能想象早期的探险家们——那些在19世纪穿着羊毛外套、皮鞋，带上咸肉作为口粮便踏上征途的先驱者们——在第一次看到北极时是种什么心情。飞机飞得很慢，我坐在紧挨着舷窗的位置上，盯着外面的景色发呆。

在一路向北的行程中，地面的景色慢慢发生改变，植物逐渐消失，冰雪渐渐扩张。海冰一开始是小块的，随后便形成了覆盖整个海面的广袤冰层。从1万英尺的高空看下去，海冰从干净的纯白色逐渐过渡为蓝色、绿色或是介于两者之间的某种颜色。这些冰层的形状不同于世界上任何其他地方，有些区域的冰碎成方块状，有些区域是长条状，还有一些区域则如晶体钻石。

从低空缓慢飞向格陵兰岛的几个小时里，从前面的挡风玻璃看出去，前方始终蒙着一层白色浓雾。直到飞到跟前，你才发现这些“浓雾”实际上是一望无际的冰原，一直延伸到目力所及之处。格陵兰岛的中心是地球上最大的冰原之一。这片冰原高6000英尺，深6英里，面积与得克萨斯州相当。整个岛屿的基岩出露仅仅局限于沿岸的一些悬崖峭壁，其余地区的基岩都被完全掩埋在深深的冰雪之下。这是一片毫无生气的冰雪荒原，人迹罕至。

在20世纪50年代，由于在冷战中的重要战略地位，格陵兰岛突然变得热闹起来了。在这片冰原的西北角，美国陆军实施了一项代号为“冰虫项目”（Project Iceworm）的绝密计划，几乎就是电影《奇爱博士》中的场景。

这项在五角大楼长达17英里的走廊的某个房间里被制定出来的计划，设想在格陵兰岛的北部冰层中开挖可容纳600枚核弹头的导弹发射

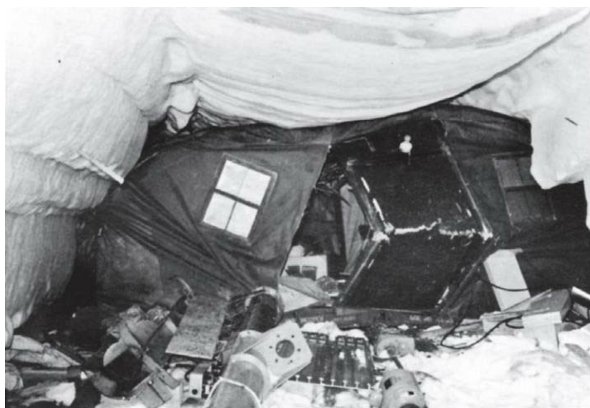
井，并通过地下隧道将这些发射井相互连通，构成一个完整的地下城市。他们甚至还给这座城市起了一个未来主义的名字，叫做“世纪营”（Camp Century）。

这一计划从1959年开始秘密实施，施工人员从遥远的南方基地调运重型机械，在这里完成了21条冰下隧道的挖掘工作。在其高峰时期，这座地下城市曾经容纳超过200人，建有商店、医院、剧院，甚至教堂。为这座城市提供能源的是世界上第一台“可移动式”核反应堆——Alco PM-2A。反应堆产生的热量融化冰雪，为这座地下城提供水源。整个系统自给自足，并且绝大部分隐藏在地下，几乎就像是一个人类版的蚂蚁农场。

“世纪营”的位置靠近苏联，是一个完美的军事基地选址。整个计划的实施相当顺利，除了一个问题：冰层的运动。到1966年，事情已经很明显——冰层的运动幅度很大，导致隧道发生扭曲，昂贵的仪器设备也遭到了破坏。从今天拍摄的“世纪营”的照片上，还可以看到被挤压而扭曲的机械设备和被遗弃的房间，一切就像是在一片古老冰层中转瞬即逝的匆匆过客。

但世纪营工程仍然具有其价值，尽管这可能并非五角大楼原先设想的本意。





9-1 建设鼎盛时期的世纪营“主干道”，长达1100英尺（约335米）

1969年的拍摄景象，移动的冰雪压垮了当年的建设区。

改变世界的夏日旅行

出生于1807年的路易斯·阿加西斯(注)是一个聪慧且极具个人魅力的人，对于探索大自然有着不竭的热情。在他还是个孩子的时候，便到处收集动植物标本以满足自己旺盛的好奇心。他还会非常细致地用笔描绘出它们的细节。他信奉通过观察来学习，这也成了后来贯彻他整个职业生涯的信条。他的父母很早便察觉到路易斯在这方面的癖好，于是便把他送到一个叔叔那里当学徒。这个叔叔是一位成功的商人，他的父母也希望路易斯能成为一个“做事的人”，而不是整天痴迷于石头和虫子。然而他们显然低估了阿加西斯的个人魅力。年轻的阿加西斯完全没有在他父母所期望的道路走下去：他说服了他的一位老师去游说自己的父母，允许他继续待在学校，并成为一个——按照他的原话——“写字的人”(注)。

在路易斯快成年的时候，他和哥哥一起在苏黎世学习。那里离他们的家有100多英里的路程。一天，他们发现没有车回家，便只好步行往家走。一位有钱的陌生人在路上遇到他们，让他们搭了顺风车。一路上，这位绅士对阿加西斯的聪慧印象深刻，后来他便写信给阿加西斯的父母，承诺愿意全额资助他的学业。自那以后，阿加西斯的职业生涯便扶摇直上。最终，他来到了美国，并在这里参与创建了两大科学中心：哈佛大学比较动物学博物馆和美国国家科学院。

1837年的夏天，已是年轻父亲的阿加西斯带着他的孩子们去到风景如画的小镇贝克斯[注]度假。贝克斯坐落在罗讷河畔[注]，东西两侧被阿尔卑斯山脉包围。这里有着瑞士境内唯一一座至今还在开采的盐矿。一条窄轨铁路可以将游客们一直带到数百英尺的地下。这个巨大的矿洞是从19世纪20年代开挖的，目的是开采地下的盐矿——当时的食盐和同等重量的黄金一样值钱。在阿加西斯造访的那个年代，这座矿还是新的，矿主非常乐意向夏季到来的游客们介绍本地的地质情况。在阿尔卑斯山的这部分区域，很多地质现象都非常明显，一目了然。在阿加西斯来访之前的一段时间，矿主和他的一位朋友对当地的一些岩石产生了许多疑问。阿加西斯到来后，这两人便乘机地向这位“大人物”提及了那些让他们感到困惑的地质现象。

情况是这样的：这里到处都是一些巨大的岩石，有些岩石几乎和大篷车一样大。这种情况本身并不奇怪，巨石在某些地区是很常见的。然而问题在于，这些巨石似乎都放错了地方：构成这些巨石的岩石类型与当地的基岩完全不同。事实上，与这些巨岩的岩性最为接近的岩石，分布在距离这里数百英里之外的悬崖之上。似乎有某种力量将这些巨石搬运到了这里，但这种力量究竟是什么？

在对巨石进行了更细致的考察后，他们得到了一些线索。这些巨石的表面满是擦痕，就像是用镐雕刻出来的一样。并且，这些刮擦痕迹的方向并不随机，而是相互平行的。



9-2 路易斯•阿加西斯

当从阿尔卑斯山高处的公路旁俯瞰这些山谷时，更多的谜团出现了。在每一条山谷的边缘，都可以看到一条条由砾石堆积而成的垄带，这些垄带看上去曾受到过挤压，像是被用犁或是蒸汽机车搬运过去的。但由于这些垄带都位于农村地区山谷的坡上，这样的想法显然可以被排除。

这些巨岩和砾石堆在诉说着同样的故事：有什么东西曾经搬动过这里的岩石。但那究竟是什么？

流水冲刷的可能性可以被排除。如果能够搬动这么大的巨石，如此规模的洪水应当会在当地的岩石和土壤中留下明显的痕迹。当然，人类活动的可能性也可以被排除。那么就只剩下一种可能性了——冰。

在阿加西斯造访的年代，这里的冰川都位于高高的山峰上。但这是否只是它们在最近一段时期中所处的位置？有没有可能在过去的某一时期，这些冰川曾经覆盖了整个山谷？假如冰川不断地随着扩张或收缩进出山谷，那么这些巨石就会随之被移动，而那些砾石也会被挤压、堆积成垄带，并在表面留下刮擦的痕迹。

在这样一番展示与讲述之后，阿加西斯的朋友们向他提出了这个有关冰川运动的想法。对于阿加西斯而言，他一生的信条便是通过观察来进行学习，而这次访问让他灵光闪现。这些观察将会改变世界。当考虑到冰川运动的作用时，整个瑞士不同尺度的岩石现象突然之间呈现出了它们的意义：那些保存在岩石表面的刮擦痕迹、砾石垄带，以及山谷本身的形状，都在诉说着同一个故事。阿加西斯的心脏狂跳不已，因为他

想到了一些更加具有普遍意义的事情：他的旅行阅历告诉他，这样的现象并不仅仅局限在阿尔卑斯山区，而是广泛存在于整个欧洲，甚至一直向南直到地中海。运动的冰川并不仅仅局限于瑞士风景如画的山谷之中，它一定曾经覆盖了几乎整个欧洲。

他在贝克斯的朋友们并不知道的是，阿加西斯随后便开始了对自己宏大想法的验证。1840年，他出版了一本书，并将其献给在那次关键的夏日旅行中遇到的朋友们，书名就叫《冰川研究》。在这本书中，阿加西斯提出了一个极其大胆的假设：在过去的某一时期，冰川曾经覆盖了从北极一直到地中海的广大地区，随后向北退去，但此后又卷土重来，如此往复。他的一位朋友为这些假设中的寒冷时期起了一个吸引眼球的名字："冰期"。

之后，阿加西斯开始施展他的个人魅力，说服同时代的学术权威们接受他的理论。他带着他们来到此前在夏季度假时朋友们曾带他去过的地方，向他们展示这里过去曾经发生冰川运动的证据。阿加西斯安排了很多次这样的现场讲解，期间也经历了很多的争论，但最后他成功了。他的冰期理论得到了广泛的接受。

这一理论的美妙之处在于，和大多数伟大的科学思想一样，它能够做出具体的预测。只需要观察世界各地的岩石，便可以验证阿加西斯的理论。那些不太寻常的巨石、砾石堆以及线状擦痕应当是广泛存在的。如果说发现这种广泛存在的模式是一回事的话，那么找出其背后的成因则更为关键。

但对于热心的支持者们而言，冰期理论的一个问题是，几乎找不到任何可行的机制来予以解释。事实上，这一理论与当时的主流观点——即认为地球是随时间推移逐渐变冷的——完全相悖。如果地球是在不断变冷的，那么冰川就不应该从它们今天所处的位置上发生后退，而是应该持续扩展。另外，阿加西斯关于砾石堆积和巨石的观点认为，地球的温度并非只经历了一次转变，而是随时间上下波动。究竟是什么导致了

冰川的消长？

星空之舞

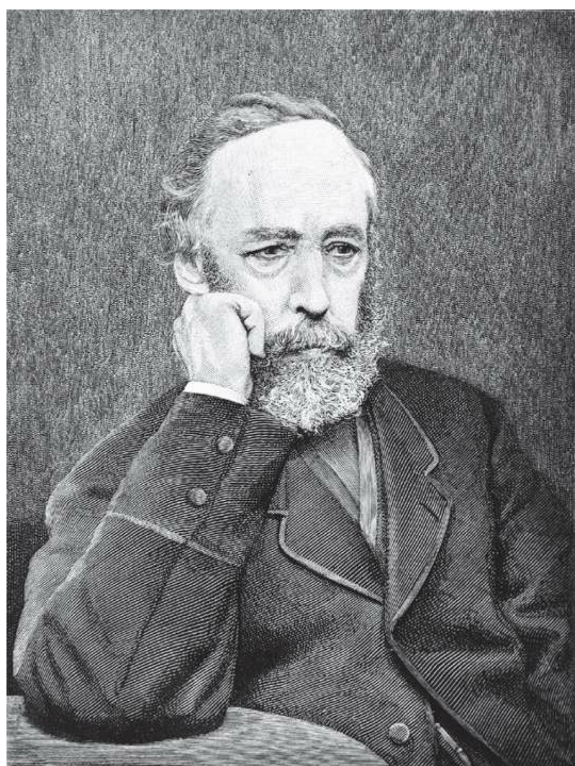
詹姆斯·克洛尔(注)在苏格兰的一个农场出生长大，没有受过正统的教育。和阿加西斯一样，克洛尔也为思想而活，他被那些伟大的思想、未解之谜和学术问题深深吸引。为了生计，他曾尝试过推销保险，但由于本能地厌恶与人打交道，他无法胜任这份工作。此后他又开过一家茶店，尽管不能完全避免与人打交道，但这家小店为他提供了一个其他工作无法提供的优势：他有很多空闲时间可以用来学习。学习是克洛尔的最爱。

在克洛尔那张最有名的肖像画中，他的目光似乎凝视着千里之外，思想仿佛去了一个遥远的地方，或是在思索某个深奥的数学问题。他的嘴唇透着苏格兰式的冷酷，完全不可能与任何的幽默沾边，你无法想象能从这张嘴里说出什么玩笑话来。从任何方面来看，克洛尔都具备一种超凡的专注。这种专注加上对学习的激情，让他可以花上一整年的时间读一本书。他经常盯着一页纸看上一天甚至更长的时间，试图理解其中涉及的每个点。他的追求是对学术问题刨根问底：不仅仅满足于看到那些模式，他想要了解这个世界究竟是如何运作的。

是时候解决阿加西斯冰期理论背后的机制问题了。克洛尔采用的方式与他的前辈阿加西斯迥然相异，他从最基本的原理入手，问道：究竟什么原理才是背后的机制？他拿起纸和笔开始解决问题。想要找到这背后的机制，就必须考虑那些能够改变地球热量状况的因素。地球上的热量很大一部分源自太阳。从太阳那里接收的热量是否存在着某种有规律性的变动，从而引起了地球上的冰期？

在投身这一问题的研究之后不久，克洛尔读到了一篇由一位法国科

学家撰写的论文。这篇论文让他的心思为之一动。文中提到的观点是，地球轨道的规律性变动会导致抵达地球表面的热量出现改变。地球围绕太阳公转，而地球本身的自转轴倾角导致了四季的产生。地球的轨道受到附近其他大型天体引力摄动的影响：火星、木星、金星和土星都在围绕太阳运行。它们会周期性的接近地球，并对地球轨道的形态与倾角造成影响。在数千年的时间尺度上，地球的轨道会发生晃动和变化，从而影响所接收到的太阳热量。克洛尔设想，地球上冰期的发生，可能与地球接收太阳热量变少的时机相吻合。



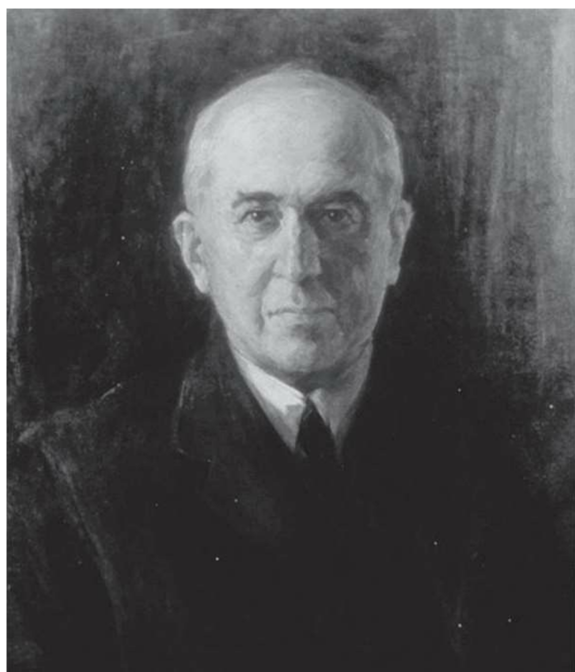
9-3 詹姆斯·克洛尔（显然他不是在思考关于茶叶的问题）

根据这一机制，他做出了一个特定的预测：冰期的发生应当与地球轨道的周期性变动相吻合。然而不幸的是，克洛尔的这一理论仅仅是昙花一现。由于缺乏任何确凿的证据来证明冰期时间与轨道周期两者之间的对应性，他的理论仅仅停留在了“一个好想法”的阶段。

在克洛尔去世几十年后，一名年轻的塞尔维亚[注]土木工程师产生了一个想法：他可以将他在建筑设计上的数学才能，用来揭示宇宙的运行奥秘。他的这一想法可以从他与一位诗人朋友在贝尔格莱德一家咖啡馆饮酒时的祝酒辞中得到体现。当时这位诗人朋友举起酒杯宣称：“我要描写我们的社会、我们的国家以及我们的灵魂。”而这位土木工程师同样举起杯说：“我要做的比你更多。我要理解整个宇宙，一直到它最遥远的角落。”

就在这次聚会之后不久，这位名叫米卢廷·米兰科维奇[注]的工程师

便换了工作：他离开建筑公司，去贝尔格莱德大学做了教授。他不是一个会轻易被困难吓倒的人。很快他便宣称，他将用纯数学的方法解决有关于行星的问题。全球气候是他要解决的第一个问题，但他的研究对象不仅仅局限于地球。他想要发展出一套数学理论，其不仅适用于整个地球的气候，还可以被应用于太阳系中所有的其他行星。



9-4 米卢廷·米兰科维奇

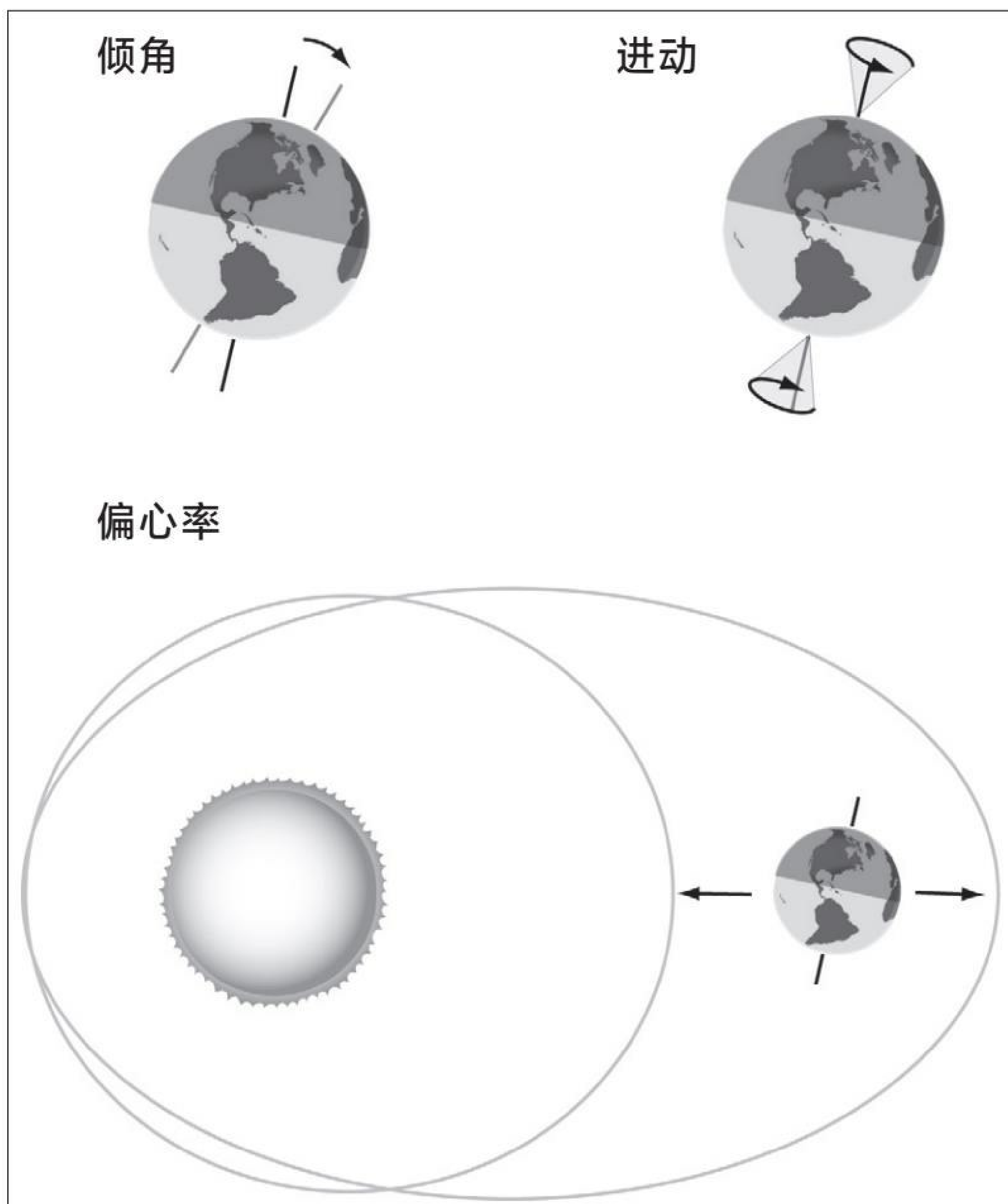
米卢廷的这一雄心让他的一些同事感到不解。如果直接设立气象站就可以测量温度，那何必要去计算全球的温度呢？米兰科维奇对此的回答显示了他的想法：当仅仅依靠纸和笔、通过数学计算就能预测温度值时，我们才能算是完全理解其中的机制。于是他便开始了工作，尝试探寻那曾经迷惑了克洛尔的行星律动。

克洛尔的理论是一个很自然的出发点，但米兰科维奇对其做出了很多新的改动。他采用了与克洛尔相似的数学方法来计算太阳光如何能影响行星的热量状况。为了阐明这层关系，他建立了不同的模型来描述海洋与大气之间的热量交换。作为一名杰出的数学家，他计算出了不同季节之间的温度变化范围，并据此做出了一系列重要的预测。

他的理论认为，地球的轨道会以三种主要的方式发生改变。以大约10万年为周期，地球的轨道会从偏椭圆形逐渐变得更圆；以大约4.1万年为周期，地球的自转轴倾角会发生大约2度的变化；最后，以大约1.9万年为周期，地球的自转轴指向会发生规律性进动，就像一个陀螺(注)。

米兰科维奇意识到，这些变化并不显著。事实上，这样的改变不会

对地球接收到的太阳热量产生太大的影响。它们的作用——正如他的数学方程完美展示出的那样——是改变季节的长度和强度。



9-5 米兰科维奇周期包括地球自转轴倾角、地轴进动以及轨道形状方面的周期性变化

岩石的故事揭示了冰期的存在。数学计算显示了地球的气候会以周期性的方式发生变化，与地球轨道的变化规律一致。但地球上的冰期是否与地球轨道的变化周期相吻合呢？对于这个问题的解答，还需要等待一项新的科学探索的出现——原子弹的研制。

冰雪中的线索

曼哈顿工程[注]是一项短期的战争计划，它的目的是召集一大批顶级科学家全力达成一个单一目标。随着战争的结束，美国政府发现自己面临着一个问题，但这是那种“好的”问题：战后有大批天才的科学家分布在全国各地，从新墨西哥到纽约，但却没有一个能让他们继续开展工作的长期规划。让事情更加棘手的是，现在已经不再是实现单个目标——比如制造一颗炸弹——那么简单了；目标变成了很多个。为了不失去这些人才，或者是为了延续物理学基础研究方面取得的突破性进展，美国政府在全国各地资助建立了很多实验室，其中就包括建在芝加哥大学的一个实验室。芝加哥大学是当年恩里科·费米率领团队首次实现可控核反应的所在地——今天那里矗立着一座亨利·摩尔的雕像[注]，就在体育馆的路对面。在战后，政府协助芝加哥大学建立了一系列的研究机构，来探索物理与化学领域的“大问题”。这其中的一个“大问题”，便是我们这颗行星的历史。

芝加哥的两位科学家维拉德·利比[注]和哈罗德·尤里[注]是这场由战争向和平过渡进程的获益者，拥有着共同的激情和信念。这种共同的激情便是拓展知识的疆界，而共同的信念则是，坚信在原子中——在它们的电子、质子和中子之中——隐藏着有关我们这颗星球甚至是整个太阳系的起源和历史的线索。

新仪器的出现让研究原子的工作如虎添翼，这些仪器可以以十亿分

之一的精度测量粒子的丰度——这就像是从整个长岛的琼斯沙滩[注]上检测出一颗不同的沙粒。基于这种精度，寻找古老问题的全新答案已经成为可能。

利比花费了5000美金，安排他实验室中的两位初级科学家开展有关碳元素方面的研究项目。和大多数原子一样，碳原子以几种不同的形式存在于自然界。所有这些碳原子的原子核中都有着相同的质子数，其差异只在于其中子数量的不同。利比的想法是：所有生物体内都应当拥有与其周围的大气相同的碳-14丰度。这是因为生物在它们每天的生活中需要呼吸、进食和饮水，而这些都会摄入碳-14，因此生物体与大气之间维持着碳-14的平衡。一旦生物体死亡，这种与大气之间的平衡便被打破，不会再有新的碳元素以食物或其他营养物的形式进入生物体，于是留在生物体内的碳原子便开始衰变为其他形式。正如我们在其他原子上所见的那样，这种衰变过程是以一种由物理与化学定律所限定的固定速率进行的。基于这些知识，利比提出了一项大胆的设想：如果你能测出一块古老骨骼样品中的碳-14含量，基于一些假设，你便应当能够计算出这一生物是在何时死去的。这是一项巨大的进展：就像是在古代的骨骼、牙齿、贝壳或是木头之中发现了一台时钟。

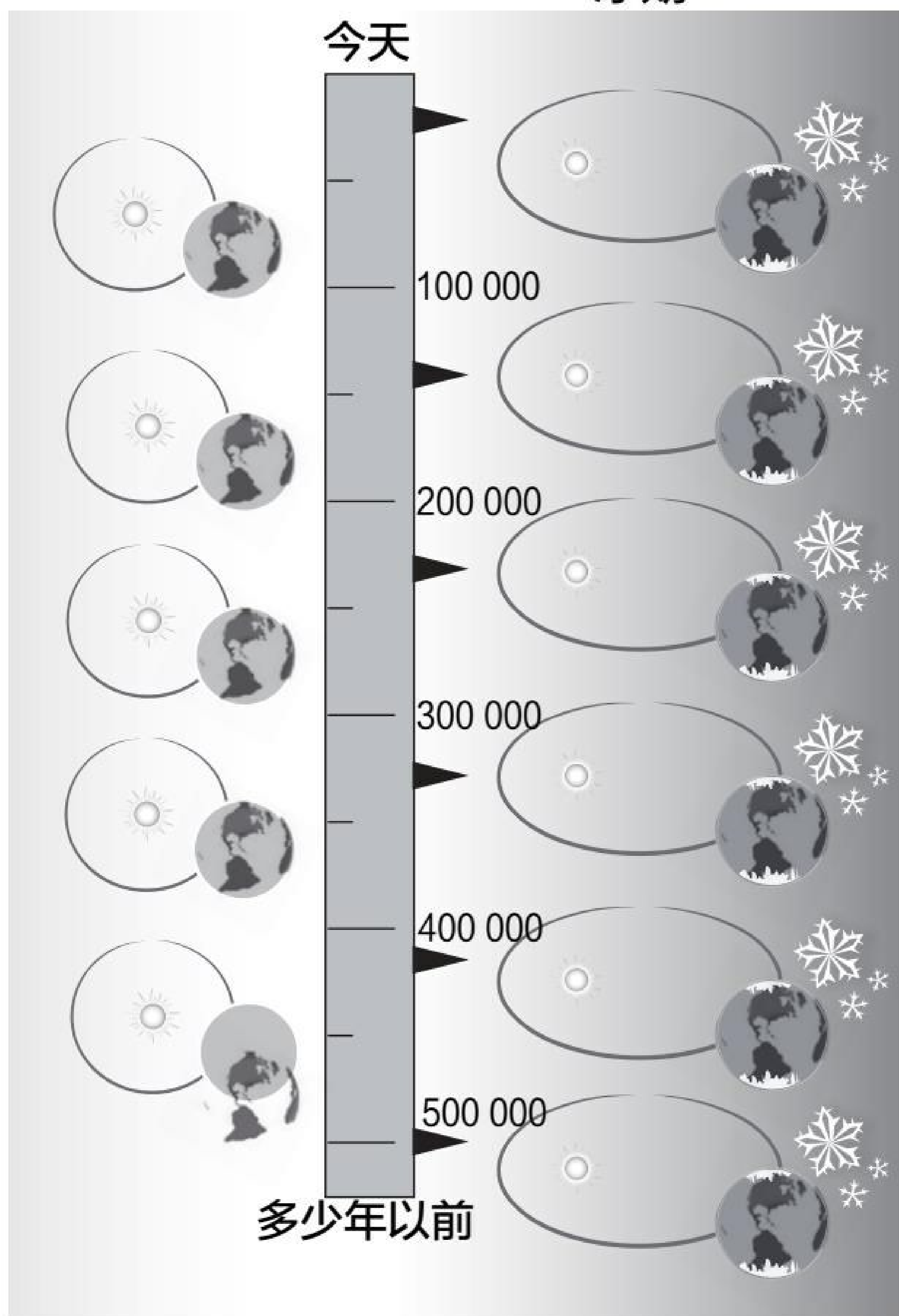
而在不远处实验室中的哈罗德·尤里眼里，原子被想象成了解行星、太阳系乃至整个宇宙历史的线索。令他着迷的对象之一便是我们都非常熟悉的一类原子——氧原子。氧广泛存在于空气、水体和骨骼中，这种微小的原子所拥有的一些独特的性质，使它成为了窥视我们及一个更广阔世界的过往历史的窗口。

尤里知道，氧和碳一样，有着拥有更多的中子数因而更重的原子，也有拥有更少的中子数因此更轻的原子。他纯粹基于理论猜想，任何物质当中不同形式的氧的丰度平衡，应当是由温度决定的。他做出这一猜想的时机实在是非常理想，因为有足够精密的设备可以用来检验这一理论。

检验的结果表明，他是对的：样品中更重和更轻的氧原子比值确实取决于温度。对于尤里和他的研究组而言，这项成功意味着，如果你能够测定任何物质——比如水体或是骨骼——中不同氧原子的细微比值差异，那么你或许就能够猜测出其形成时所在环境的温度状况。关键就在于要找到那种能够精确揭示地球气候变化细节的合适的记录。只有到那时，利比、尤里和他们的同事们所开发的这些技术手段才能够帮他们找出事情的来龙去脉。

贝壳既结实又坚硬，因为其内部含有一种晶体——碳酸钙。这种分子对于贝壳的坚硬性质至关重要，幸运的是，它其中也含有氧。尤里和同事们看到了其中关键的联系：在贝壳生长期间，组成贝壳的分子始终源自于其生活的水体。这样一来，贝壳中不同氧原子的比例便能够反映贝类生长环境中的水体温度。并且，由于贝壳易于保存，它们可以形成对于古代事件的完整记录。

有了氧原子作为温度计，碳原子作为计时器，再加上有地层关系作为先后顺序的指导，研究组开始着手研究冰期气候的变化规律。其中一个小组研究了他们所能找到的最完整连续的贝壳记录，并据此构建了温度随时间变化的关系图。海底是一个理想的研究环境：这里含有一层又一层从上层海水中落下的沉积物。通过测定每一层沉积物中贝壳的氧元素组成，研究人员可以大致了解气候随时间的变化情况。他们发现，地球的气温呈现出高低起伏的变化，有代表高温的峰值区，也有代表低温的低谷区。更重要的是，地球的气温似乎并非是随机变化的：仔细地观察这条气温变化曲线，你会发现，这些峰值和低谷似乎呈现出一个10万年左右的周期。这不是一个随机的数字，而是多年之前米兰科维奇提出的周期数值之一。同时，在其他研究组的数据中，这一10万年的周期也开始出现了。或许天文事件的确对地球上的气候造成了影响？


冰期
今天
100 000
200 000
300 000
400 000
500 000
多少年以前

9-6 10万年周期与地球轨道变化之间的相关性：在地球轨道偏心率增加时比较可能发生冰期

问题在于，这些数据显得有些凌乱；温度与时间的关系曲线上满是高低起伏，并非仅仅只有一个10万年的周期。于是，一名英国科学家和两名美国科学家重新审视了这些数据，并运用了一种新的方法来进行分析。这种方法是由拿破仑手下的一位地区长官，在其征服埃及之后[注]发明的。这位官员对自己的工作感到厌倦，于是便开始研究热及其在不同材料之间的传导。然而，让一个多世纪之后的地质学家们受益匪浅的，并非他在热学上的研究，而是由他发明的一套新的数学方法。如果你有一份包含有大量复杂波动的波形图，那么图上的凌乱可能是由几个不同周期的波形相互叠加而形成的。这种数学方法，即傅里叶变换分析法，可以用来将一个复杂的模式分解成为数个有规律的、更加简单的形式。

经过这一简单的分析工具分析后，这些数据揭示出的不是噪杂与混乱，而是一个被深深掩盖的信号。一个模式从数个相互叠加的波形中逐渐显现出来：10万年的周期叠加于4万年的周期和1.9万年的周期之上。米兰科维奇和克洛尔是正确的：冰期的出现与地球轨道、倾角以及自身转动的变化相关。

气候图中的高低起伏反映了温度的上升或下降。从数百万年的地质时间尺度上看，这些曲线就像是人的心电图。我们这颗行星的心跳已经持续亿万年，并与地球的轨道运行、空气与水体的运作相互合拍。在4500万年前曾让莫里恩·莱默等科学家为之着迷的全球变冷之前，这些轨道变化并不会导致冰期的发生。而在地球整体降温之后，这样的轨道变化便被记录在了极地冰雪的兴衰节律之中——是冰雪自己揭开了这个最大的秘密。

1964年正是“世纪营”工程建设的高峰时期，一名丹麦地质学家威利·丹司葛德[注]来到这一地区的图勒空军基地[注]（这里的主要基地，同时也是这座地下城市的补给站）考察当地的冰雪。丹司葛德曾经在芝加哥

待过一段时间，甚至曾在尤里的实验室工作过。当时的学生都还记得他对于寒冷的嗜好——他在芝加哥的漫长冬季里一直开着窗子。

在图勒基地期间，丹司葛德听到有人谈论在基地往东大约100英里的地方正在施工的军事基地，于是便申请去“世纪营”地下城访问，然而当局却以秘密项目为由拒绝了他的申请。后来他谎称自己是美国陆军寒区研究与工程实验室的高级管理人员，侥幸得到了许可，可以接触在地下城施工过程中挖掘出的原始冰芯。在这些冰芯之中，会不会隐藏着揭开地球气候谜团的关键线索呢？

丹司葛德在其职业生涯的很长一段时间里，都渴望着能够获得大量连续的冰芯样品，而现在他终于如愿以偿——世界上迄今最完整的冰芯样品就在他眼前。这些冰芯的两个明显特征立刻引起了他的注意：它们的颜色从绿逐渐过渡到蓝；它们还具有分层结构，有较厚的层，也有较薄的以及厚度介于两者之间的层。几乎所有大气以及水体中的物质都会被保存在冰里。任何种类、任何大小的碎屑也都会被保存下来：不仅是二战期间的老旧飞机残骸，还有种子、植物，以及世界遥远角落的火山爆发飘来的火山灰。大气中的气体也会被以气泡的形式捕获并封存在冰芯中。冰芯中的层结构本身能反映出季节的变化。北极的冬天黑暗而寒冷，而夏季则是明亮的，相对也没有那么寒冷。太阳会带来融冰和流水，以及流水中的碎屑物。因此，在冰芯中代表夏季的层段相比冬季的层段颜色就要显得更深一些，所含的东西也更杂乱。此外，风吹来的尘埃也会导致一些层段比另一些颜色更深。如此多的东西被埋在冰芯之中，于是它便成为了研究古代气候的一个非常精确且信息丰富的记录载体。

丹司葛德将哈罗德·尤里发展出的方法应用到了对格陵兰冰芯的研究当中，并因此取得了重大的突破。由于他的主要着眼点并非贝壳，而是冰芯，因此需要对尤里的方法进行些许修正。但不管怎样，他最终反演出了古代气候变化的记录。他测量了长达半英里的冰芯中的氧原子比

值，这么长的冰芯所代表的是超过10万年间的气候记录。丹司葛德注意到，在1.7万年前曾有一次明显的降温过程，这与阿加西斯最早发现的冰期时间相吻合。同时他也注意到，大约500年前出现过一次温暖时期，而这与人类首次在格陵兰岛上定居的时间相吻合。此外他还发现，在公元1700年~1850年曾出现过一段寒冷时期，当时欧洲大部分地区都陷入严寒，而汉斯·布林克(注)正在阿姆斯特丹的运河里滑冰。

丹司葛德的努力只是粗略的初步尝试，因为他所使用的冰芯是在开挖导弹发射井和地下教堂的时候得到的，不满足精细的科学分析的要求。要想进行这样的分析，必须专门进行冰芯的钻取、切割，并妥善保存。因此现在需要的是新的、保存更完善的冰芯。而如果想让这些数据具有意义，他就需要采自全世界各地的冰芯样品：南、北极以及不同大陆上的山岳冰川。

钻取能够用于精细科学分析的冰芯，需要工程师、科学家和政府部门之间通力合作，在世界最大的冰原上开展工作。这是一项大科学工程：需要在世界上最偏远的一些地区建设钻探设施，还要解决考察队的住宿问题。自20世纪70年代以来，考察队在世界各地已经钻取了许多个冰芯，其中最完整的几个冰芯样品采自格陵兰和南极的冰原地带，以及世界上的一些山岳冰川地区。

对这些冰芯的更精细的研究得出了令人惊讶的结果。过去的10万年间，地球的气候曾经发生过剧烈的变化。冰期并非是一成不变的寒冷时期：在冰川活动中穿插存在着温暖时期，而在温暖时期中也穿插存在着冰川活动。逐渐显现在我们面前的是这样的图景：地球的气候取决于其热量的平衡——即从太阳那里获得的热量值减去散逸到太空之中的热量值，以及这些热量在海洋、陆地、空气与冰雪之间的传递方式。对于气候的变化模式，音乐是一个很贴切的类比：一首乐曲可以被作为整体来欣赏，也可以被分解为节拍、背景节奏和按照各自规则演奏着的不同乐器的和声。米兰科维奇所揭示的地球轨道的运动周期，便是这音乐的主

线节奏；而在洋流、风以及冰雪间的热传导，则构成了其他的节拍。各类因素相互作用的结果，便形成了一个有着长期节奏和短期起伏的系统。

最近的一次冰期在大约1.25万年前结束，那次冰期正是一个气候短期起伏的典型例子。当时从各个方面来看，气候都应当是持续回暖的，然而却出现了一个持续了数十年的急剧转冷时期。来自花粉、氧原子和其他方面的线索为我们揭示出一个令人瞠目的气候模式——冷暖的转变在瞬息之间发生了。在短短10年间，全球平均气温出现了15摄氏度的变化。如果将温度曲线看作心电图的话，这样的变化幅度就相当于地球发了心脏病。只要想想如果全球气温发生2~3摄氏度的改变，会对全球海岸线、可耕地数量以及沙漠化状况造成多么巨大的影响，你就能够体会15摄氏度这样大幅度的变化有多么可怕。然而这就是我们这一物种在历史上曾经历过的气候改变。

变化的种子

轨道、气候和冰雪限定了生物在全球范围内随时间的扩散。全球气候的改变让一些种群被冰雪分隔而变得支离破碎，形成了很多隔绝的小群落。但另外一些种群却因此得到了新的迁徙路线，抵达了在之前的气候条件下无法抵达的地域。对美洲原住民的DNA分析显示，他们的祖先源自同一个男人，他可能是在最近一次冰期期间从形成的冰桥上穿越了白令海峡[注]。欧洲人的家族谱系树中也同样隐藏着冰雪的印记。很多欧洲人的DNA特征显示，他们的祖先源自早先生活在乌克兰地区的古人，他们在最近一次冰期消退之后向外扩散。冰雪的印记深深地镌刻在我们的谱系树，以及我们与我们的人类近亲所共同拥有的DNA之中。

有一些种群没有做出改变，于是便消亡了。北美大陆的最后一次冰期对于生活在那里的哺乳动物们而言是一次双重打击：首先，它们必须

应对气候的变化；而更糟糕的是，它们还必须应对一个新的竞争者与捕食者——人类。气候的变化，加上从亚洲迁徙而来的人类，最终导致了北美大陆的剑齿虎、猛犸象以及大地懒[注]的灭绝。

还有一些种群则完全改变了它们原有的生活方式。

多萝西·加拉德[注]在她剑桥大学的同事们眼中“腼腆得要命”而且“很难了解”。但实际上她一点儿也不腼腆。在1921年加拉德寄给自己堂妹的一封信中，她写道：“我亲爱的詹妮，我上周在法国的经历充满了乐趣，太令人激动了，真不敢相信这是真的。我肚子贴地向前爬了几个小时……在裂开口的深渊向上攀行（靠着一盏乙炔灯的微弱光芒）……头顶是钟乳石，脚下则是石笋，最后抵达了一个奇境之地。”这里描述的是一位探索古代世界的女性，她深入险境并乐在其中。这位“害羞”的女性在洞穴中发现了尼安德特人[注]的骨骼，并在世界各地发现了很多新的古人类遗迹，她同时还是英国牛津和剑桥两大名校历史上首位被授予教授职位的女性。

在耶路撒冷[注]附近的舒巴洞穴[注]及周围区域进行发掘时，多萝西发现了一些弯月形状的石器——此前考古界还从未发现过类似的东西。随后，她又发掘出一系列的研钵、磨石和一些小雕像——生活在这里的古人已经开始研磨小麦并进行宗教活动了。

进一步的发掘工作有了更多的发现：仔细掩埋过的狗的遗骸、人的居所、死者墓穴中精心布置的随葬品，甚至还有精致的石雕。在这些被加拉德称作“纳图夫人”[注]的早期人类的聚集地，已经有了最早的经过驯化的狗、最早表现人类性交活动的石雕作品，以及复杂的葬礼仪式。纳图夫人的群落成员多达上百人，他们在一个不断随时间变化的复杂社会中相互交往。在此之前，人类主要是过游牧生活的：为了适应变化的气候并获取足够的食物，人类种群需要不断迁徙。然而纳图夫人却采取了一种截然不同的方式：他们在数千年的时间里逐渐发展出了一种很大程

度上定居的文明——从移动营地发展到半永久性的定居点。

没有种群可以游离于地球上发生的变化之外，尤其是那些在短短数十年的时间内急剧发生的气候改变，如同保存在两极冰雪中的记录所显示的那样。纳图夫人生活在一个气候快速转变的时期：急剧的降温让高纬度地区被冰雪覆盖，低纬度地区则陷入寒冷和干旱。在大约1.3万年之后，冰川开始后退，温暖的气候开始持续稳定地出现。纳图夫人以及和他们同时代的其他早期人类几乎肯定遭受了由这场全球气候变化带来的压力，而在食物供应和生活方式上受到的影响就更不用说了。那么，他们以及他们之后的文明究竟是如何得以维系的呢？



9-7 多萝西·加拉德（右）在野外工作

饱满的种子是种植作物的典型特征，它们在距今1.1万年前的纳图夫人定居点遗迹中便已经出现了。起先出现在纳图夫人遗迹中的谷粒等还比较少见，但在更晚期的人类定居点中它们则变得非常常见。种子是农业活动的证据；研钵和石杵则是当时的社会已经开始用他们自己种植的作物作为食物来源的证据。得益于这些发明，人类不再需要依赖迁徙的动物生存。有了农业和像纳图夫人文明遗址中的那种定居点后，人类便可以发展出与稳定社会联系在一起的教育科学与文化活动。技术与文化成了一个多变世界中的缓冲器。

就像多萝西·加拉德在泥土中发掘纳图夫文化遗址一样，我在芝加哥大学的同事乔纳森·皮卡德[注]也在研究DNA的结构与序列。通过对现代人类DNA序列的比对，他可以判断出我们之间的差异是出于偶然因素还是自然选择的结果。如果某个特定基因能赋予拥有它的个体在生存几

率或繁殖方面的优势，那么它必定会在DNA中留下线索——运用专门为此目的研发的统计学工具，乔纳森能够将它们识别出来。在所有其他条件等同的情况下，如果某个基因的存在是自然选择的结果，那么相比纯粹偶然条件下的情况，这个基因应当会更加普遍，并且在人群中的变异也会更小。

这样做的结果是，乔纳森找到了人类DNA中一系列受自然选择作用的基因，这些基因从某种程度上影响了人类祖先的生存和繁衍。这是生物学家们的圣杯，因为它们能够告诉我们哪些生物学特征是重要的。那么这些基因具体是做什么的呢？它们中有些与色素沉淀有关。这很好理解：人类在向全球范围扩散的过程中会抵达具有不同光照程度的地区，此时控制天然肤色的基因就会发生改变，那些远离赤道地区的人类肤色会变得更浅。

另一些基因则显示出人类饮食习惯的变化。在某些人类种群中，与消化牛奶、碳水化合物以及酒精相关的基因变得十分普遍。消化这些物质需要有相应的酶来对应其中特殊的糖类成分。在过去的1万年中，与这些能力有关的基因的重要性大大上升：消化牛奶的能力是奶牛被驯化成功的证明；人体处理酒精的能力则是人类食物发酵技术的体现。这两者都证明了农业的出现，或者从某种程度上来说，是定居的人类社会的出现。

地球的旋转和过去的寒冷岁月所留下的痕迹无处不在——从海滩上的沙子到山上奇怪的巨石，甚至是我们体内的DNA，它们就像是“世纪营”的隧道，都是变化的气候与文明留下的遗迹。

---

1. 地速（ground speed），是指飞机在飞行过程中相对地面的速度。
2. 德·哈维兰双水獭飞机，加拿大德·哈维兰公司开发的一款小型短距起降通用飞机，1965年首飞，后被广泛应用于偏远地区考察工作。
3. 失速速度，当飞机飞行速度过低时，机翼无法获得足够的升力，导致飞机开始向下坠落，这一最低速度极限称作失速速度。低速性能好的飞机可以具有很低的失速速度。

4. 原文如此。按照现有资料，格陵兰冰盖是仅次于南极大陆冰盖的世界第二大冰原区，约覆盖全岛80%的面积，厚度约为2000~3000米。
5. 《奇爱博士》（Dr Strangelove），斯坦利·库布里克经典《未来三部曲》作品之一，拍摄于1964年。
6. 五角大楼，美国国防部所在地，因其外观呈一个五角形而得名。
7. 路易斯·阿加西斯（Louis Agassiz，1807~1873），瑞士裔美国博物学家，冰川学之父。
8. “做事的人”（man of affairs），指经商做事；“写字的人”（man of letters），指从事学术工作。
9. 贝克斯（Bex），瑞士小城，位于瑞士西南部沃州境内。
10. 罗讷河（Rhone River），也作罗纳河，欧洲主要河流之一，流经瑞士和法国。
11. 詹姆斯·克洛尔（James Croll，1821~1890），英国科学家，首次提出地球轨道变动导致气候变化的思想。
12. 塞尔维亚，欧洲巴尔干半岛国家，曾为南斯拉夫的6个加盟共和国之一，首都贝尔格莱德。
13. 米卢廷·米兰科维奇（Milutin Milanković，1879~1958），塞尔维亚土木工程师、地球物理学家和天文学家，以著名的米兰科维奇周期的提出而闻名。
14. 这就是著名的“米兰科维奇周期”，或“米兰科维奇循环”。其主要包括：1）轨道形状（偏心率）的改变，即地球的公转轨道会周期性的在更“扁”和更“圆”之间变化；2）自转轴倾角的改变，即自转轴相对公转平面垂直方向的倾角，这一角度值会在大约22.1°~24.5°之间改变，目前的数值约为23.44°；3）自转轴的轴向进动，是指地球自转轴相对恒星背景指向的变化。在一个周期内，这一指向会在空中划过一个圆锥形。
15. 曼哈顿工程（the Manhattan Project），二战期间美国研制原子弹的项目秘密代号。
16. 亨利·摩尔（Henry Moore，1898~1986），英国雕塑家、艺术家，以半抽象的铜质雕塑作品闻名；这里提到的位于芝加哥大学的雕塑是指他的作品《核能》（Nuclear Energy）。
17. 维拉德·利比（Willard Libby，1908~1980），美国物理化学家，因发展碳元素测年方法而被授予1960年度诺贝尔化学奖。
18. 哈罗德·尤里（Harold Urey，1893~1981），美国物理化学家，因在同位素领域的杰出工作而获1934年度诺贝尔化学奖。
19. 琼斯沙滩（Jones Beach），纽约州长岛的一处沙滩，现在是州立公园。
20. 这里是指傅里叶（Joseph Fourier，1768~1830），法国数学家，物理学家。曾随拿破仑军队远征埃及，回国后担任格伦诺布尔省省长。

21. 威利·丹司葛德（Willi Dansgaard，1922~201 1），丹麦古气候学家，哥本哈根大学地球物理学名誉教授。

22. 图勒空军基地（Thule Air Base），最北端的美军基地，位于格陵兰岛西北角，距离北极约1500公里，1943年建成，至今仍在使用。

23. 汉斯·布林克（Hans Brinker），美国作家玛丽·道奇同名小说中的人物，热爱滑冰。

24. 白令海峡，北美洲与亚欧大陆之间的海峡，分隔了北冰洋与太平洋，位于美国的阿拉斯加州与俄罗斯之间。

25. 均为已灭绝的新生代生物，灭绝时间大致在距今1万年前后。

26. 多萝西·加拉德（Dorothy Garrod，1892~1968），英国考古学家，剑桥大学历史上首位女教授。

27. 尼安德特人（Neanderthals），生存于旧石器时代的史前人类，因1856年其遗迹最早在德国尼安德河谷（Neanderthal）被发现而得名。

28. 耶路撒冷，中东地区城市，伊斯兰教、犹太教和基督教的圣城。

29. 舒巴洞穴（Shukba Cave），耶路撒冷附近的一处古人类遗址。

30. 纳图夫文化：Natufian，西亚的中石器时代文化，年代大致为公元前1万～前8000年左右。

31. 乔纳森·皮卡德（Jonathan Prichard），美国芝加哥大学遗传学教授，出生于英国，现任职于斯坦福大学。

第十章
创新之源

距今800万年前，地球上大陆和海洋的形状已经和今天非常接近了，即便小学生也能够认出它们来。这颗行星看上去已然非常现代，除了一件重要的事：在陆地上还缺少一种大脑发达的两足行走生物。

从猿到人进化的最初线索，隐藏在今天的乍得和肯尼亚[注]境内距今已有700万年的岩石之中。一支法国考察队在当地一个湖床边缘发掘出了一个拥有混合特征的头骨：它的眉骨很宽大，头盖骨却比较小，看上去像一只黑猩猩。但它的鼻子和脸部明显比最小的黑猩猩还要小得多：这样的特征毫无疑问是属于人类的。更多的线索来自于肯尼亚境内年轻一些的岩石。在这里出土的一部分股骨及其他腿部骨骼都是直的，这非常符合两足行走生物的特征。进化正在发生：一些新的猿类正生活在甚至行走在这颗星球之上。

然而这些生物并未察觉，它们脚下的大地正悄然发生着变化。非洲大陆正在分裂：地球深处的上涌岩浆撕开了地壳，由此形成的绵延裂谷自北向南劈开了大陆。这道裂谷一开始很小，之后便不断扩展，从埃及一直向南延伸至莫桑比克，总长2000英里（3200公里）。随着这一过程的持续，这些裂谷——如同我们在格陵兰岛寻找距今2亿年的古老岩石时所看到的那样——在地球表面造成许多隆起和凹陷，形成了一系列的山脉和峡谷。

几乎每一块蕴藏着200万~600万年前历史的化石，都是在这个大裂谷的不同区域被发现的。所有这些化石都表明，两足行走是我们最古老的特征之一，在乍得和肯尼亚发现的生物化石也证明了这一点。人们还

发现了其他一些生物化石，它们有着较小的脸部和犬齿，但有着大大的臼齿和发达的大脑，这是更进一步的人类特征。到了大约190万年前，在非洲大陆以外的地区出现了其他种类的人类近亲。他们的骨骼结构表明，他们可以直立行走，甚至用双腿进行长距离的奔跑。而到20万年前，与我们属于同一物种的成员——智人[注]，出现了。

我们对于那时气候状况的了解，有赖于对沙尘、淤泥和骨骼的分析。被埋藏在沉积层中的沙尘可以帮我们了解当时气候的干燥程度以及风的强度和方向。海底的淤泥隐藏着海潮以及尼罗河入海径流量的信息，这一点可以被用来计算当时的降雨量。而在裂谷湖泊底部的沉积物则可以告诉我们湖泊水位随时间变化的历史。只要你掌握了其中的方法，几乎每样东西都能变成温度计、气压计，甚至是风速计。地层中有无羚羊化石可以告诉我们当时这里是草原还是森林；而是否有河马化石则向我们透露了这片地区当时是否潮湿。甚至长颈鹿化石脖子的长度也可以告诉我们很多信息：比如当时生长在这一地区的树木的高度。

非洲这片地区的沙尘沉积存在韵律性。随时间推移，羚羊的分布范围越来越广，而相比之下，河马和长颈鹿的分布则变得更加局限。随着气候从温暖潮湿逐渐向干燥寒冷转变，这里原本茂密的森林景观逐渐让位于更加开阔的草原。然而尽管存在这种长期性的气候转变趋势，但在任何一段较短的时期内，气候环境都可以发生剧烈的波动。

正如那些在靠近山脉的城市里居住的居民们所知道的那样，高地会对附近区域的气候产生巨大的影响。非洲裂谷系统的发展对当地的天气系统同样具有深远的影响：与裂谷系统有关的山脉阻挡了水汽，并在山脉的另一侧形成雨影区[注]。非洲各处的天气开始出现差异，一部分地区降雨丰沛，而其他部分则显得更加寒冷而干燥。前一种气候环境造就了更多的森林，而后一种气候环境则孕育了广袤的草原和萨瓦纳带[注]。非洲大陆上发生的这些地理和气候上的变化也与世界其他地方发生的变化之间存在相互关联。由非洲大陆沉积物中的沙尘数量推算出的全球干旱

时期与地球极区的冰雪量变化相吻合，而西部非洲潮湿气候的循环周期与克洛尔与米兰科维奇则最早提出地球轨道晃动之间也存在相关。

两足直立行走的能力原本是在乍得、埃塞俄比亚和肯尼亚等地的森林环境下发展起来的，而现在，面对像萨瓦纳带一样的新的草原环境，我们的祖先们得以自由地长途迁徙并用空出来的双手制造工具。这一时期的重要特点之一便是气候的迅速转变，这一特点意味着，只有那些能够迅速适应环境的物种才能存活下来。正是在这样严酷的环境变化中——尽管在地质历史上只是短短一瞬，新的发展开始出现了：制作石器工具、捕捞贝类、狩猎、绘画、掩埋死者、使用明火、食用熟食，以及纳图夫式的农业社会。

地球已经度过了它预期寿命的3/4，相当于保险统计表上的60岁老人了。我们的星球已经有45.7亿岁，据天体物理学预测，再过大约10亿年，太阳就会变成一颗红巨星，最终完全摧毁地球上任何可能存在的生命[注]。回顾地球的历史，生命出现的速度非常快——在地球形成之后数亿年的时间内便出现了。又花了大约25亿年，地球进化出了躯干。然后，头、手和意识以更快的节奏逐一出现了。硅芯片领域著名的摩尔定律宣称，集成电路的运算速度大约每24个月就会提升一倍，生物领域也同样见证了这种指数级的发展速度：地球几乎花了“半辈子”的时间才等到拥有发达大脑、能够使用石器工具的生物诞生[注]；仅仅几千年后，这种生物便发明了互联网、掌握了基因克隆技术并开始人工改变这颗星球的大气成分。不管是好是坏，行星本身的改变和生物的进化为我们带来了一个转变的契机——创意和发明塑造着我们的身体、我们的星球以及它们二者之间的互动。

联系

在20世纪80年代早期，我在芝加哥大学统计学系的同事史蒂芬·施

蒂格[注]接到邀请，为一部向社会学先驱罗伯特·莫顿[注]致敬的专著撰写一篇文章。在莫顿漫长的职业生涯中，他在帮助人们理解“伟大的创意与发明是如何出现的”这一问题上，做出了开创性的贡献。那是在1957年，莫顿在一家著名学术机构发表演讲时，提到了一个有趣的现象：我们最耳熟能详的一些理论，其最初的发现者往往不是为理论命名的那个人。并且，一些突破性的进展，常常是由在不同的地方工作的人同时取得的。这就是“多重性”：独立工作的不同的人发现了同一个创意或发明。

查尔斯·达尔文在乘坐“贝格尔”号军舰完成考察之旅后，产生了自然选择的思想，并开始着手准备自己的鸿篇巨著。然而就在手稿即将完成的时候，他突然得知，阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士[注]数年前在印度尼西亚罹患疟疾期间也提出过相同的理论。数千年来，人类一直在观察、描绘和思考我们与动物之间的关系，而与所有生命相关的一个最根本原理，却是由两个独立工作的人几乎于同时发现的。戈特弗里德·莱布尼茨[注]和艾萨克·牛顿爵士各自独立且几乎同时地发明了微积分；埃利沙·格雷[注]与亚历山大·格雷汉姆·贝尔[注]在同一年发明了电话。这一名单还可以列出很长一串。许多伟大的创意似乎都在同一时刻闪现于不同人的头脑之中。

几乎每一位研究生和年轻的科学家都非常害怕遇到这种状况。当一个伟大的思想在一个人的脑海中闪现时，他的第一个念头是什么？——并非总是“哦！天哪！”。他们需要一份有前途的职业，必须靠他们的研究工作来取得学位。因此他们的想法往往是：“没准其他什么人早就发现这个了吧？”

在收集了大量的案例之后，施蒂格提出了一个如今已非常有名的定律。简单来说，施蒂格指出，当你提到一个以人的名字命名的定律时，比如胡克定律[注]、牛顿物理学，以及达尔文进化论等，你应该时刻牢记一点，那就是：“没有什么科学发现是以它的最初发现者命名的。”史蒂

芬·施蒂格将这一定律命名为“施蒂格定律”，作为对莫顿和他的弟子们最合适的献礼——他们是在社会学之父弗朗西斯·培根[注]研究的基础上发现这一模式的。实际上，对于发明创新的“多重性”的发现，已经出现过许多次了。

有关创新的丰富历史并非是由一个人传递给下一个人的线性过程，而是整体社会环境的产物。这其中包含了无数的前提条件，因此便会出现不止一个的发明者。实际的发明人往往并没有孕育这项发明的社会环境来得重要：在某项发明出现之际，已经有某些东西“弥漫在空气中”了。这里所涉及的前提条件，包括那些让发明得以出现的必要条件，以及让这些发明得以继续发展和维持下去的机会。正是看到了前提条件与社会背景的重要性，培根才会在1511年说出那句名言：“时间是最好的发明家。”

我们的身体与基因，是数十亿年来层层累加的生物学“发明”相互综合的产物。因此，在生物的世界里，就跟在技术世界中一样，同样充满着“多重性”。比如，呼吸空气的能力曾经在鱼类身上多次出现，借助鱼鳍在泥滩和陆地上爬行的能力也一样。在许多淡水物种身上长有肺或类似的组织：它们中的有些物种使用囊状的肺部来呼吸；其他一些则在自己身体的其他部分增加了血管的分布。甚至行走也是鱼类中一项常见行为，在许多不同的鱼类身上都可以看到，比如躄鱼[注]、弹涂鱼[注]和肩章鲨[注]。有些鱼类甚至可以爬树。这种“多重性”并不仅仅见于鱼类——每一个物种，甚至我们人类本身，都以这样或那样的方式体现着这一规律。就像适用于定理和技术领域一样，施蒂格的法则也同样适用于器官。

我们自身的改变并非凭空发生：时间，正如培根所言，是我们最伟大的发明家。人类不可能在3.75亿年前的泥盆纪出现，就像iPad不可能在18世纪被发明出来一样。因为在那之前，我们首先必须要等待四肢、脚或是集成电路等大量前提条件的出现。

对于生物世界的发明而言，那“弥漫在空气中的东西”则是指空气本身的状态，及其与岩石、水还有生命之间的联系。对人类至关重要的二足行走能力出现的前提，是鱼类、虫子和其他生命体身上所发生的变化。从鳍向足的转变，是随着我们的祖先从水中生活向陆地生活转变而发生的。时光倒回到3.8亿年前，当时的溪流和海洋中充斥着各种生物：大小各异的鱼类。这是一个真正的“大鱼吃小鱼”的世界。当时水里生活着体长14英尺（约4.3米）的肉食性鱼类，还有数不清的体型更小但身披硬甲的鱼类。陆地已不再是一片荒芜，植物和各种无脊椎动物已经占据了这里，茂盛的森林和灌木丛中一片生机勃勃。最初上岸的鱼类面对的是一片友善的环境——食物遍地，而且没有任何天敌。我们遥远的鱼类祖先想要逃离水塘，而陆地正在向它们召唤。此时，任何能帮助它们逃脱水中捕食者、增加在陆地生活机会的特性，都将成为一种独特的优势。

植物帮助塑造了让我们的远古祖先得以转为陆上生活的地理与环境条件。植物的根系固定了土壤，让溪流拥有了坚固的河岸，从而让我们的鱼类祖先得以在此生活[注]。陆地上植物的兴起同样帮助提升了大气的氧含量水平。人类肢体的起源很大程度上与树木、灌木和花朵的历史有关，就像它们对鱼类起到的作用一样。

但肢体与植物还都只是身躯故事中的一个章节；每一个组织、细胞和基因的起源都是植物与其他生物之间相互作用的产物。如果没有藻类的出现和大陆的漂移，造就我们四肢乃至我们所有器官的分子机制或许根本就不会存在。这场变革的过程持续了数十亿年：从大爆炸时物质与反物质之间的失衡，到太阳系的运行机制，再到地球的地壳循环机制，最后到我们这个物种的诞生。人类这一“发明”的前提条件，不仅包括长长名单上的动物祖先们，也包括那一系列的行星与宇宙事件——它们从一开始便与我们以及我们的历史交织在一起。

美国哲学家威廉·詹姆斯[注]常说，宗教体验源于“在宇宙中感到如家

一般的归属感”。而组成我们身体的粒子源自天体的诞生过程，我们的器官由行星运动、岩石侵蚀和大海的作用塑造——面对这样的自己，我们很难不处处看到家的影子。

回到起点

考察队循着那道古老的裂谷，从格陵兰岛的东部海岸一直来到了摩洛哥的阿特拉斯山脉脚下。非洲西北部地区的岩层主要是一些受侵蚀的砂岩和页岩，我们在北极地区已经对这些岩层司空见惯：只不过把北极熊换成山羊，冰川换成一座座的小村子而已。一切都像家一样熟悉，甚至我们来此的科学目标也是一样的：在格陵兰岛的成功给了我们经验，同时也让我们更加渴望在新的地点搜寻古老的哺乳动物化石以及它们的牙齿。

法里希和我顺着一个看上去很有希望的峡谷向下走，这里到处都是布满沙尘的红色砂岩。突然，前方一阵驴子发出的声音吸引了我们的注意——这种声音提示附近有村庄。一般来说，在这种情况下我们会碰见一位牧羊人或是一大群小孩子。他们对我们的好奇，加上天生的幽默感，曾经多次让我们在毫无收获的一整天之后感到身心放松。

随着声音的接近，我们眼前出现了两位老者。他们明亮的眼睛和大大的笑容与因为年老而蜷缩的身体很不相称，骑着两头比他们还要瘦小的驴子。两位老人咧着几乎已经没有牙齿的嘴朝我们笑着，脸上布满了皱纹；粗糙的手和脚上满是常年劳作留下的老茧。

这两个人显然有什么事情想告诉我们，但法里希和我一句柏柏尔语[注]都不懂，只能依靠肢体语言配合面部表情来表达自己的意思。这两个人很明显想跟我们说一件很重要的事情，但要命的是我们不知道他们究竟想说什么。最后，在绝望之下，其中一位老人从他的长袍里掏出一张

发黄的旧纸片递给了我。纸上的老照片表明，这是当年他当工人时用的工作证。我突然明白了：他曾在大约20年前与在这里进行发掘的法国古生物学家们一同工作过，现在他想为我们工作。法里希仔细看了看证件上那些因为年久而极度模糊的印刷字迹，然后摇了摇头。他轻轻叹了口气，对我说："我比他们还老呢。"法里希是一个50岁出头、体格健壮的男人，看上去要比眼前的这两个人年轻40岁。

这颗行星所施加的影响，写在我们这两位柏柏尔朋友们的脸、关节和身体上。而文化、技术和经济影响了我们与地球之间的交互。你不必专门到摩洛哥，就能感受到这种影响：只需要在曼哈顿或芝加哥走过几个街区，你就会发现在寿命、婴儿死亡率、癌症、糖尿病、肥胖症、心脏病以及识字率等方面的天壤之别。

在过去，地球环境的风云变幻和地理状况是决定我们远古祖先命运的最大因素——无论它们是鱼类、爬行动物还是人类。但是这样的状况现在已经发生了改变，而这场转变的根源可以一直追溯到大约300万年前的非洲。

最早的石器工具是用来切割肉类的。自那之后，人类又发明了各种工具，用于你能想到的几乎所有目的——从生产食物到海底旅行。我们用于信息交换的手段也不断变化，从字母到声音，再到电子化。我们的历史就是一个不断借助各种设备、机器和技术来让想法成真，并不断拓展生活可能性的过程。

几乎每一项技术与创意的诞生，都会让我们这个物种找到新的方法进一步与地球隔离。自纳图夫人之后，稳定的农业社会让我们在食物上摆脱了对迁徙动物群的依赖；衣服的出现让我们不再受制于变化的天气；工具与机器让我们得以突破身体的极限。我们甚至还获得了这样的能力：脱离地球引力的羁绊，将我们的影响拓展到其他星球。

人类的创造力与我们的生物学本性就像是一支管弦乐队中的不同乐

器：它们各自独立演奏，但只有当它们组合在一起时才成就一首乐曲。烹饪的发明在我们的肠道及其相关基因中留下了烙印；农业的起源也反映在我们的DNA结构之中。技术与文化发明影响了我们自身的生物属性。但首先，正是我们的生物学本性——发达的大脑、灵巧的双手以及说话的器官——让这一切发明成为可能。生物学本性与文化是这颗星球上人类经验的阴阳两面。

但是，我们是否正在逐渐打破这种平衡？这种从我们生活在萨瓦纳带、森林与洞穴中的祖先们开始，便已经成为我们自身一部分的平衡？如果我们乘坐时光机回到1000年前，或者100万年前，什么样的因素会决定我们跑得多快、活得多长，或是能学习到多少东西呢？

棒球运动的统计数据为此提供了一些线索。事情已经到了这样一个地步：我们需要区分选手在能力测量——比如打出本垒打——中的表现是否借助了技术的帮助。鉴于新的技术已经表明，药物能够增强人从体能到认知的一系列能力，不难想象在遥远的将来，诺贝尔奖可能也将需要对候选人进行区分。人类文明从启蒙至今已经有1.1万年，我们身边的改变正越来越快，想象一下再过1.1万年，人类的能力将会达到一个什么样的高度？

目睹技术带来的影响，我们不禁要问：达尔文的进化论已经不再适用了吗？人类数百万年进化过程的最终结果，难道就是让我们与这颗行星以及进化过程本身脱节？

生物学家们不断运用各种工具，将数字融入到达尔文的理论中。这不是异想天开——数字和方程能让科学做它最擅长的事：做出精确的预测，并检验这样的预测。简单一句“适者生存”是远远不够的。为了预测进化的改变，我们需要真实的数据来描述生物体所具有的特征和这些特征在代际之间的传递，以及它们对生物体在环境中的成败所产生的影响。从进化论的角度来说，我们需要尽可能精确地定义这些数据，尤其是与“成功”有关的数据——在一个特定的环境条件下，我们用一个特定

生物在其一生之中所繁衍的存活后代的数量来对之进行衡量。如果在某个地方，红色的鸟相比绿色的鸟繁殖出更多存活下来的后代，并且这种色彩模式具有牢固的基因基础，那么在其他条件完全相同的情况下，随着时间的推移，自然选择的作用将会让红色鸟的数量增加。自然选择永远不会消失：只要达到某种条件，它的发生就将是不可避免的。

在人类身上进行这样的研究十分复杂，我们所需要的数据只能通过估算来获得一个大概。在理想的情况下，我们应当开展大样本研究，从而得以追踪整个家族的遗传情况。在对人类遗传特质的研究方面，迄今最好的记录来自一些大型的临床研究项目，这些项目的目的是要通过长期追踪了解人群的健康状况。著名的“弗雷明汉心脏研究”[注]从1948年开始，一直持续进行到现在，整个项目期间总共对大约1.4万人进行了跟踪研究，记录下了他们的出生、孩子的数量以及其他各种不同的特征和死亡的原因。另外还有一些针对动脉疾患、生殖健康和心理方面的研究。最大的数据库来源于那些实施公民健康登记制度的国家，如丹麦。丹麦收集了800万居民的健康数据，范围包括从生育到家族史的所有方面。

生物学家史蒂芬·斯特恩斯[注]和他的同事们对这些数据进行了分析，并得到了一些令人沮丧的结果。生活在世界不同地区的人们存在着很大的不同。在发达国家，由于有完善的医疗保障、食物以及各种技术设备，大部分进化压力体现在生育方面：人们何时生育孩子？生育几个孩子？而在发展中国家情况则完全不同：死亡率是影响一个人基因传递的因素之一，尤其是儿童的死亡率。在一个世界中，进化的成功主要体现于一个人繁育后代的年纪；而在另一个世界中，这种成功却取决于这个人自身能否存活下去。社会经济条件、文化和技术水平决定了进化会在多大程度上对人类造成影响。

在过去，个体的长期成功来自于基因和遗传特性的扩散，而这通常是对环境改变的反应。那时，这一代向下一代传递信息的主要信息来源

便是DNA，而现在情况则没那么简单了。美国科学家诺曼·博洛格注和他的妻子育有3个孩子、5个孙子和6个曾孙。我们可以观察他的整个家族谱系，并评估他的遗传特性在代际之间的传递情况。如果我们穿越到未来，我们将可以评估他的生物学特性在基因库中是否取得成功：头发的颜色、卷舌头的能力以及对疾病的耐受性，等等。但这样的特性对于我们这一物种的未来而言，究竟有多大的意义呢？除了传递自己的基因外，博洛格还被誉为“绿色革命之父”，他在玉米和小麦方面的研究工作帮助提升了这些作物的抗病虫害能力和产量。他的工作帮助改善了世界各地数以百万计的人们的生活，甚至拯救了他们的生命。他的思想存在于人们对它的运用和改进之中，存在于这个因他的天才而得到改变的星球之上。无数人的生命因为农业的发展与医学技术的突破而得到拯救，无数人的生活因为伟大的文学、哲学和音乐作品而改变——作为一个物种，我们的成功将取决于对人类思想的传承。在人类出现之前，数以万亿计的藻类花费了数十亿年的时间来改变这颗星球；而现在，改变只需一个念头，它将以光速传播开来。

这听起来就像是一种不可思议的魔法：我们的身体、思维和从中迸发出的思想，其最初的根源深藏于地壳、海水以及组成所有天体的原子之中。作为一个物种，我们能够拓展自身的生物学继承，去探寻那137亿年的漫长历史，探索广袤的宇宙空间，思索我们自身与行星、星系和其他生命之间的深刻联系。而夜空中的繁星和深埋地下的化石就像是永恒的灯塔，在向我们昭示——尽管人类改变的步伐越来越快，我们仍然只是那与宇宙一样古老的联系网络中最新的一环。

---

1. 乍得、肯尼亚和后文中出现的埃塞俄比亚、莫桑比克等均为非洲国家名。
2. 智人（Homo sapiens）是生物学分类中我们全体人类的一个共有名称，Homo sapiens意为“有智慧的人”。
3. 雨影区：在山区或山脉的背风面，雨量比向风面显著偏小的区域。
4. 萨瓦纳带（savanna）即热带或亚热带的稀树大草原。
5. 原文如此。红巨星是指恒星演化的晚期阶段，此时恒星内部已经耗尽氢燃料，进入

不稳定期，体积大大膨胀，亮度急剧增加。但一般认为太阳还要再过50亿年以上才会到达这一阶段。但按照现在的速度，太阳的亮度大约每10亿年便会增加大约10%，如此到大约10亿年后，地球上的水便会全部蒸发殆尽，变得不再适宜生命生存。

6. 同样，此处的叙述假定地球的剩余“寿命”仅有10亿年左右，但这是不正确的；因此此处说“半辈子”比较恰当。

7. 史蒂芬·施蒂格（Stephen Stigler，1941~），美国统计学家、经济学家，芝加哥大学教授。

8. 罗伯特·莫顿（Robert Merton，1910~2003），美国社会学家，大部分职业生涯供职于哥伦比亚大学。

9. 阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace，1823~1913），英国博物学家。

10. 戈特弗里德·莱布尼茨（Gottfried Leibniz，1646~1716），德国数学家，哲学家。

11. 埃利沙·格雷（Elisha Gray，1835~1901），美国电机工程师，发明家。

12. 亚历山大·格雷汉姆·贝尔（Alexander Graham Bell，1847~1922），美国发明家。

13. 胡克定律，力学弹性理论中的一条基本定律，其基本描述为：在弹性限度内，物体的形变跟引起形变的外力成正比。

14. 弗朗西斯·培根（Francis Bacon，1561~1626），英国科学家、哲学家、作家、政治家。

15. 躄（bì）鱼，指躄鱼科的鱼类，很多种类胸鳍特异化，可以在海底爬行，广泛分布于热带海域。

16. 弹涂鱼，属虾虎鱼科，可借助鱼鳍在泥滩跳跃，适应潮间带环境。我国东南沿海滩涂常见。

17. 肩章鲨，学名Hemiscyllium ocellatum，属天竺鲨科，生活在西太平洋热带浅海区域，会用鳍“步行”至潮汐池寻找猎物。

18. 此处“坚固河岸”原文为“solid bank”。作者原意应为土壤的形成造就了泥质滩涂与平缓湿润的河岸，为初登陆地的鱼类祖先提供了一种过渡地带，从而让它们得以逐渐适应陆地环境。

19. 威廉·詹姆斯（William James，1842~1910），美国哲学家、心理学家。[20]柏柏尔语（Berber），柏柏尔人的语言，主要生活在今天的摩洛哥以及阿尔及利亚等地。

20. 本垒打，棒球术语，指击球员将对方来球击出后依次跑过一、二、三垒并安全回到本垒的进攻方法。

21. 弗雷明汉心脏研究（Framinghan Heart Study），一项由美国国家心脏、肺及血液研究所与波士顿大学共同发起的针对心血管疾病的长期研究项目，从1948年起对美国马萨诸塞州弗雷明汉小镇上5209名成年居民进行追踪研究，目前已经进行到对参试者第三代人

的研究。

22. 史蒂芬·斯特恩斯（Stephen Stearns，1946~），美国生物学家，耶鲁大学教授。

23. 诺曼·博洛格（Norman Borlaug，1914~2009），美国农业专家，遗传育种专家，为改善世界粮食安全做出杰出贡献，被誉为农业领域的“绿色革命之父”，1970年被授予诺贝尔和平奖。

拓展阅读与笔记

面向普通公众的有关宇宙历史、行星以及生命的佳作丰富了文学的内涵。在这方面，尽管又经历了数十载的科学发展，卡尔·萨根的《宇宙》[注]迄今仍是对宇宙及其与我们之间联系的最清晰、最雄辩的阐释之一。从大爆炸一直到行星的形成，这方面的故事也已经由几位科学作者进行了讲述，其中包括：劳伦斯·克劳斯的《一颗原子的时空之旅：从大爆炸到生命诞生的故事》[注]以及尼尔·泰森和唐纳德·戈德史密斯撰写的《万物起源：宇宙140亿年的演化史》[注]。理查德·福提以他特有的优雅笔触，在《生命简史》[注]中讲述了这颗行星的历史。福提的作品与蒂姆·富兰纳瑞的《地球之上：行星自然史》[注]、麦克·诺瓦克的《大地：我们1亿年岌岌可危的生态系统》[注]以及柯特·斯塔格所著的《深度未来：10万年后的地球生命》[注]一起，共同作为极具前瞻性的著作，对地球丰富的历史以及在此过程中发生作用的机制进行了描述。对于生命历史简略而生动的描述，则必须推荐理查德·道金斯的《祖先的故事：生命起源的朝圣之旅》[注]、安德鲁·克诺尔的《一颗年轻行星上的生命：地球上最初30亿年的演化史》[注]以及布莱恩·斯维特克的作品《镌刻于岩石之中：演化、化石记录，以及我们在自然界的位置》[注]。

第一章 世界之巅

根据进化与地质历史给出的预测来搜寻化石，意味着你必须运用地质历史的工具，尤其是地层学、沉积学以及构造地质学方面的知识。通常来说，地层学的作用是帮助理解地球上的岩层，揭示它们的年龄与相

互关系。沉积学则更侧重于阐释岩石形成的环境条件，如砂岩、页岩，以及粉砂岩等，这类岩石中有时会含有让我这样的古生物学家们感兴趣的化石。这些岩石最初是在什么环境下形成的？是湖泊、溪流、海洋，还是什么其他的作用过程？构造地质学致力于理解地质运动现象以及岩石在其数百万年的漫长历史中，从沉积到形成岩石的整个过程中所受到的作用。这些领域的通俗作品是非常多的。对于那些没有任何地质学背景的人来说，作为入门读物，可以参阅玛西亚·贝涅拉德所著《读懂岩石：地球自传》[注]，福提的《生命简史》同样是不错的选择。同样还可以参阅沃尔特·阿尔瓦雷茨的杰作《圣弗朗西斯的山峦：发现塑造地球的地质事件》一书[注]。

比尔·阿马拉尔对格陵兰岛上可能含有化石的三叠纪岩层的洞察最初起始于那本《壳牌石油世界二叠纪三叠纪手册》。我们在图书馆发现的那篇被丢弃的论文是K. Perch-Nielsen et al., “Revision of Triassic Stratigraphy of the Scoresby Land and Jameson Land Region, East Greenland,”Meddelelser om Grønland193 (1974): 94–141.，这篇论文最终引导比尔、查克和法里希了解到丹麦沉积学家拉斯·克莱蒙森[注]的有关工作。这些相关论文——L. B. Clemmensen, “Triassic Lithostratigraphy of East Greenland Between Scoresby Sund and Kejser Franz Josephs Fjord,”Grønlands geologiske undersøgelse(1980)，以及L.B.Clemmensen, “Triassic Rift Sedimentation and Palaeogeography of Central East Greenland,”Geological Survey of Greenland, Bulletin, no. 136 (1980): 5–72，成了某种意义上的罗塞塔石碑[注]，因为它们揭示了这里存在化石的潜在可能性，并指出了这一地区的岩石与北美东部地区之间的相似性（见P. E. Olsen, “Stratigraphic Record of the Early Mesozoic Breakup of Pangea in the Laurasia-Gondwana Ri System,”Annual Reviews of Earth and Planetary Science25 [1997]: 337–401）。这是我们的胜利时刻。

要想抓住岩石中隐藏的过去的奥秘，一些更具体的东西——食物、对鞋子的挑选，以及学习如何观察——与伟大的思想一样重要。这样的

想法最早可以追溯到拿破仑的那句名言：军队是靠胃行军的[注]。在科学方面，你可以做最充分的准备，但如果你们的食物不佳，事情很快就会变得糟糕。如果野外工作的团队成员们有好的饮食，那么吃饭就会变成一件令人期待的事，这样人们就能忍受天气和乏味的生活，以及一无所获的化石采集带来的挫败感。当在潮湿寒冷的环境中度过漫长的日子却毫无收获时，晚上回到帐篷，诱人的美食便会是我们最好的解脱和慰藉。因此在出发去北极前，我们会准备许多脱水的蔬菜和水果，并精心设计不同口味、花色和味道的菜肴搭配组合。每年的4月份，如果你在野外考察季即将到来之前来我的实验室，你可能会闻到脱水机中奇异果、草莓或是SanMarzano番茄[注]的香味。我们甚至还会在野外烤面包吃，因为我们知道，面包烘烤的香味不仅能帮助销售人员卖出一套房子，还能慰藉身在野外、脾气暴躁的考察队员们。在野外，这种面包尝起来像是最好的法式长棍面包。不过不幸的是，我们运用独创做法做出的面包更像是建筑材料而不是食物，因此如果平时在家里拿来招待客人的话，就会被认为是一种失礼。

当1988年我们第一次在野外工作时，对上述这些技巧还知之甚少。那时候我们所带的食物全部都是预包装好的脱水食品，上面贴着各种让人食欲大增的花哨标签：油煎牛肉片、鸡肉马沙拉、火鸡肉苔托基尼[注]。在野外对着这些东西狼吞虎咽了两周之后，我们发现它们似乎尝起来都是一个味。而在我仔细查看了它们的成分表之后，这一感觉非常不幸地被证实了：我们所有的“花式美餐”实际上基本都是用同一种肉配上不同的标签制成的，它们被塞进了不同的包装袋里，还搭配了不同样式的面条。了解了真相并不会带来任何实质性的帮助，使用热调味汁和辣椒粉也帮不了多大的忙。不用说，那年我瘦了好多。

我们采用的脱水食物菜谱可以在这个网址检索到：hp://tiktaalik..uchicago.edu。在一整天穿越苔原和砾石荒地的艰难跋涉之后，这些东西就会发挥它的作用：只要很少的燃料和水就可以做饭，还可以根据不同人的口味自由调配——从严格的素食主义者到饥饿的肉食

者都可以满足。另外把它们背在身上也不会觉得沉，你甚至还能在家里用这些东西做饭，来招待那些你永远都不想再见第二次的人。

如果想粗略了解北美东部地区的地质史，可以参阅查特·莱默与莫里恩·莱默的《镌刻于岩石之中》[注]，而文中提到的鲁尔的那条被做成桥墩的恐龙的故事，可以在埃德温·科伯特的著作《人与恐龙》[注]中找到。

关于我们在格陵兰岛考察成果的介绍，请参见F. A. Jenkins Jr. et al., “A Late Triassic Continental Fauna from the Fleming Fjord Formation, Jameson Land, East Greenland,” The Nonmarine Triassic；S. G. Lucas and M. Morales (Albuquerque: New Mexico Museum of Natural History and Science, 1993), 74，以及F. A. Jenkins Jr. et al., “A New Record of Late TriassicMammals from the Fleming Fjord Formation, Jameson Land, East Greenland,” in Lucas and Morales,Nonmarine Triassic, 94。我们此行所发现最重要的哺乳动物的有关情况则在以下文章中进行了描述：F. A. Jenkins Jr. et al., “Haramiyids and Triassic Mammalian Evolution,”Nature385 (1997): 715–18。

有关哺乳动物的起源以及这些小小牙齿与进化树中我们这一分支之间的关系的话题，可以参阅索菲亚等人所著的《恐龙时代的哺乳动物：起源，进化与结构》一书[注]，以及罗等人在《自然》杂志发表的评论文章《哺乳动物的牙齿演化》[注]。

第二章 远古大爆炸

本章节所用人体相对原子数量的数字，引自罗伯特·斯特纳和詹姆斯·埃尔斯所著的《生态化学计量法：元素的生物学，从分子到生物圈》[注]一书的第一章。当然这并非一个真实的化学方程式——因为我们

的身体并非像晶体或是食盐那样单独由一个分子构成，但我们的身体的确是由无数不同种类的分子所构成的。

使用进化树的方式将所有现存和已灭绝的生物全部相互联系起来，是达尔文进化论的一种观念。它能够做出特定的、可验证的预测，从而让我们得以构建一些理论。面向普通公众，有关进化论背景介绍的相关作品可以参见道金斯的《祖先的故事》。而对于想要了解较为专业内容的读者，可以参见E.O.威利等人所著的《系统发生学入门》[注]。如果你想深入了解这一学科以及一些该学科当前的研究热点，可以尝试参阅本领域的一些期刊，比如《遗传分类学》（Cladistics）或《系统生物学》（Systematic Biology）。

有关亨莉爱塔·勒维特所做工作的详细情况可以参阅皮克林的文章[注]。有关她的工作，以及在当时天文台里其他妇女们的工作情况，可以参阅贝尔斯等人的作品《走出阴影：20世纪妇女在物理学领域的贡献》一书[注]，或是雅各布等人所著的《百科全书：20世纪初的科学》[注]。

有关宇宙大爆炸及其结果的有关讨论，可以参阅克劳斯的《一颗原子的时空之旅》、戈德·史密斯等人所著的《万物起源》、西蒙·辛所著的《大爆炸：宇宙的起源》[注]以及史蒂芬·温伯格所著的《最初三分钟》[注]。

关于“常春藤麦克”以及泰勒-乌拉姆方案首次测试的相关内容，可以参阅理查德·罗德斯所著的《暗淡太阳：氢弹的研制历程》[注]。

第三章 幸运之星

自从史威登堡、康德和拉普拉斯等人提出星云假说以来，太阳系中行星的起源问题一直是相关研究领域的热门话题，充满了发现与争议。

有关这一话题的背景知识可以参见泰森与戈德·史密斯所著的《万物起源》一书。关于地球形成动力学机制的通俗介绍，可以参见《地球吸积过程》[注]，而那些拥有相关背景、想要深入了解这一领域研究情况的人士，可以阅读本领域的一些专业期刊，如《伊卡鲁斯》杂志[注]，这是美国天文学会行星科学分会的官方出版物。

哈里·麦克斯文撰写了一系列关于太阳系、陨石及宇宙化学的经典作品。其中尤其要推荐他的《从星尘到行星：太阳系地质之旅》[注]。如果想要了解有关太阳系动力学机制方面的内容，可以参阅卡洛琳等人的作品《崭新的太阳系》[注]。

宇宙化学（或天体化学）的研究主要侧重于对陨石、月岩及其他天体样品的化学分析。在2011年11月29日，PNAS杂志出版了一期特刊，其中包含很多一流的评论文章。其中第一篇便是由麦克皮特森等人撰写的评述《宇宙化学：经由地外样品分析揭示太阳系的奥秘》[注]。

对于地球年龄的研究本身便有着悠久而丰富的历史。作为一项重要的信息来源，布伦特的《地球的年龄》一书[注]尽管撰写的年代稍显久远，但其呈现的历史、丰富的细节以及所介绍的方法仍然极具意义。年代更近一些的类似作品可以参见同一位作者所写的《20世纪地球年龄研究：一个基本解决的问题》[注]。这一由伦敦地质学会出版的特刊中有很多关于地球年龄研究的深入探讨，以及有关这一领域的研究历史和采用的方法的介绍。

锆石是窥探早期地球历史的绝佳窗口。这方面的内容可以参见瓦利等人所著的《锆石等于永恒》一书[注]。这一领域的学术论文有很多，比如：S. A. Wilde et al., “Evidence from Detrital Zircons for the Existence of Continental Crust and Oceans on the Earth 4.4 Gyr Ago,”Nature409 (2001): 175–78。关于在地球上寻找最古老岩石的努力及其意义的通俗介绍，请参阅伯纳特等人所著的《地球最古老的岩石》[注]。该著作中包含了大量

信息，适合专业人士阅读。

地质学家一般会用两种方式描述岩石的时代：相对年龄与绝对年龄。有关这方面的话题，请参见麦克道格尔等人所著的《自然的时钟：地质学家如何测量一切事物的年龄》一书[注]。所谓相对年龄主要是指理解不同岩层之间的先后关系——上层的岩层要比下层的岩层年轻。然而当岩层发生严重变形时，情况就会变得更加复杂。要想弄清这些岩层的历史，你就必须了解造成岩层变形的断层与运动情况。

而要想弄清岩石及其中矿物的绝对年龄，则牵涉对原子衰变过程的理解。某些种类的原子拥有不稳定的电子、中子与质子组合，从而让它们容易发生粒子得失的变化。当发生这种情况时，原子的质量会相应改变，此时的原子也就具有了新的形式。在这一过程中非常关键的一点是：这种变化过程会以一种非常稳定的速率进行，被称作“半衰期”。所谓半衰期就是指样品的一半发生衰变所需要的时间，或者说一半的样品转变为衰变产物所经历的时间。反过来，如果你测量出一份样品中衰变产物所占的比例，你就能推算出这一样品所经历的时间长短。某些种类的原子对于地质学家们尤其具有重要意义，如铀-238、氩-39以及碳-14。总体来说，你需要根据不同的目的挑选合适的测年方法：那些衰变很慢的原子适合用于对最古老的岩石样品进行测年；而那些衰变更快的样品，则适合用来测量相对较年轻的样品。铀-238的半衰期很长，因此它一般被用于对地球最早期历史的研究；而碳-14的半衰期很短，因此被广泛应用于对相对近期所发生事件的研究，如古代人类历史与文化的研究工作。

在锆石中，铀与铅的同位素最具有意义。铀-238衰变后形成稳定子体同位素铅-206，其半衰期长达45亿年。当内部含有铀的锆石形成时，铀-铅时钟便启动了：从铀-238向铅-206的转变开始缓慢进行。当我们查看今天采集的锆石样品时，我们能够合理地假设其中所有的铅-206都是来自铀同位素衰变的产物。因而，当我们知道了样品中母体同位素与子

体同位素的比值以及这一体系的半衰期，我们便能计算出样品的年龄。

有关太阳系与地球的主要事件历史，可以参阅阿尔巴雷德在《自然》杂志上发表的《类地行星吸积历史与动力学》一文(注)。

关于地球上水的来源，我们见到过很多不同的观点。长期以来，人们认为地球上的水体来源于撞击地球的彗星体。当海尔-波普彗星接近地球时，人们对这颗彗星进行了实际的采样分析，然而其结果让这一传统观念受到了挑战。不过，在更近期对其他彗星的水样采样分析则支持“地球水体源自彗星”的观点。现在这一问题上存在很多不同的意见，其中没有任何一种观点得到完全一致的认可：彗星起源说、小行星起源说，以及认为水体源自地球内部本身的观点都大有市场。有关这一问题的文献可以参见：N. H. de Leeuw et al., “Where on Earth Has Our Water Come From?,”Chemical Communications46 (2010): 8923–25，以及M. J. Drake and H. Campins, “Origin of Water in the Terrestrial Planets,”Proceedings of the International Astronomical Union1, no. S229 (2006): 381–94。有关在一颗柯伊伯带彗星Hartley-2上发现成分与地球海洋水体成分相接近的消息，参见《自然》杂志上的有关文章：P. Hartogh et al., “Ocean-LikeWater in the Jupiter-Family Comet 103P/Hartley 2,”Nature478 (2011): 218–20；查阅在水星极地陨坑内发现的疑似水冰图像，请登录美国宇航局网站查阅，网址是www.nasa.gov/ mission_pages/ messenger/ multimedia/ messenger_orbit_image20120322_3.html。

有关太阳系中不同类型行星的形成和它们相互之间的关系，请参阅相关文献：R. M. Canup, “Origin of Terrestrial Planets and the Earth-Moon System,”Physics Today, April 2004, 56–62。

第四章 关于时间

近年来，在月球起源问题上有大量的研究论文发表，如R. M. Canup, “Formation of the Moon,”Annual Review of Astronomy and Astrophysics42 (2004): 441–75；R. M. Canup and K. Righter, eds,Origin of the Earth and Moon(Tucson: University of Arizona Press, 2000)；Canup, “Origin of Terrestrial Planets and the Earth-Moon System”。

关于人类记录时间方式的历史，可以参见安东尼·艾维尼的作品《时间帝国：日历，钟表与文化》(注)。

关于钟表隐藏在自然界各个角落的观点，在麦克道格尔所著的《自然的时钟》一书中有详细的探讨。

关于钟表、时间以及我们对时间的感知等有关话题，可以参见罗伯特·列文的作品《时间地理学：节奏、文化与生命的节拍》(注)。有关迈克尔·斯佛尔洞穴体验的相关资料，可以参阅他的个人记录《超越时间》(注)。

关于科特·理查生活和工作的相关情况，可以参阅由美国国家科学院出版发行的他的自传体回忆录(注)。

有关西莫尔·本泽尔与分子层面昼夜节律现象的发现，参见乔纳森·维纳的经典大作《时间、爱与记忆：一名伟大的生物学家和他对行为起源的探寻》(注)。

要想了解更多有关生物节律的内容，推荐的入门作品是约翰·帕尔默那本可读性很强、有时还稍显幽默的作品《生命时钟》(注)；如果你想做进一步的深入了解，那么就请参阅接下来所列出的文献。

本泽尔的实验室发现与生物节律有关的突变的细节情况，可以参阅科诺普卡与本泽尔发表在当年PNAS杂志上的论文：R. J.Konopka and S. Benzer, “Clock Mutants ofDrosophila melanogaster,”PNAS68 (1971): 2112–

16。追随他们的工作，并成功克隆相关基因、探寻其生物学外延机制的三个实验室分别是：布兰迪斯大学杰弗里·霍尔（Jerey Halll’）的实验室，同样位于布兰迪斯大学的麦克·鲁斯巴希（Michael Rosbash）的实验室，以及洛克菲勒大学米歇尔·杨（Michael Young）的实验室。有关不同生物体中昼夜节律变异生物学机制的问题，有一系列的论文进行了探讨，包括：Z. S. Sun et al., “RIGUI, a Putative Mammalian Ortholog of the Drosophila Period Gene,”Cell90 (1997): 1003–11；H. Tei et al., “Circadian Oscillation of a Mammalian Homologue of theDrosophilaPeriod Gene,”Nature389 (1997): 512–16；M. W. Young and S. A. Kay, “Time Zones: A Comparative Genetics of Circadian Clocks,”Nature Reviews Genetics2 (2001): 702–15；W. Yu and P. E. Hardin, “Circadian Oscillators ofDrosophilaand Mammals,”Journal of Cell Science119 (2006): 4793–95；E. E. Hamilton and S. A. Kay, “SnapShot: Circadian Clock Proteins,”Cell135 (2008)；K. Lee, J. J. Loros, and J. C. Dunlap, “Interconnected Feedback Loops in theNeurosporaCircadian System,”Science289 (2000): 107–10；E. Tauber et al., “Clock Gene Evolution and Functional Divergence,”Journal of Biological Rhythms19 (2004): 445–58；D. Bell-Pedersen et al., “Circadian Rhythms from Multiple Oscillators: Lessons from Diverse Organisms,”Nature Reviews Genetics6 (2005): 544–56。

关于昼夜节律有很多很好的评述文章和科学图书作品。以下文献对这方面的研究与作品有详尽的介绍：J. Dunlap, “Molecular Basis for Circadian Clocks,”Cell96 (1999): 271–90；M. Rosbash, “Implications of Multiple Circadian Clock Origins,”PLoS Biology7 (2009): 17–25，以及S. Panda, J. B. Hogenesch, and S. A. Kay, “Circadian Rhythms from Flies to Human,”Nature417 (2002): 329–35。

以下两篇论文对不同生物睡眠机制的相似性进行了探讨：C. Cirelli, “e Genetic and Molecular Regulation of Sleep: From Fruit Flies to Humans,”Nature Reviews Neuroscience10 (2009): 549–60以及Panda et al.,

“Circadian Rhythms from Flies to Human.”

有关利用无脊椎动物中的贝类作为标记来反演地质历史上一天长度的变化，可以参阅：Z. Zhenyu et al., “e Periodic Growth Increments of Biological Shells and the Orbital Parameters of Earth-Moon System,”Environmental Geology51 (2006): 1271–77；而关于昼夜节律的演化历史，请参阅：D. A. Paranjpe and V. K. Sharma, “Evolution of Temporal Order in Living Organisms,”Journal of Circadian Rhythms3 (2005): 7–17.

有关安眠药物方面的论著，推荐米尔·克莱格等人撰写的《安眠药物的原则与实践》一书[注]。下面这篇文献简洁精练地介绍了生物节律与临床疾病的关系：A. R. Barnard and P. M. Nolan, “When Clocks Go Bad: Neurobehavioural Consequences of Disrupted Circadian Timing,”PLoS Genetics4 (2008).

DNA复制、昼夜节律以及癌症之间的关系在以下论文得到了有益的探讨：S. Mitra, “Does Evening Sun Increase the Risk of Skin Cancer?,”PNAS108, no. 47 (2011): 18857–58；S. Gaddameedhi et al., “Control of Skin Cancer by the Circadian Rhythm,”PNAS108 (2011): 18790–95以及S. Saharand P. Sassone-Corsi, “Metabolism and Cancer: e Circadian Clock Connection,”Nature Reviews Cancer9 (2009): 886–96。

有关印第安纳州辛德奥斯坦的石质墓碑的详细介绍，可以参阅：E. Kvale et al., “e Art, History, and Geoscience of Hindostan Whetstone Gravestones in Indiana,”Journal of Geoscience Education48 (2000): 337–42。更多有关这种石料以及所开采岩石的信息，可以参阅弗莱明等人的专著《现代与古代沉积岩中的潮汐印迹》[注]。

第五章 从小到大

有关埃尔索·巴洪发现世界上最早期生命的故事，可以查阅由美国国家科学院出版的自传体回忆录[注]。

对于这一发现相关过程的生动个人叙述，可以参阅巴洪的一位学生威廉·斯科普夫——后来也成为了一名杰出的古生物学家——撰写的《生命的摇篮》[注]；类似的精彩讲述还可以参见马丁·布拉塞尔写的《达尔文的失落世界：隐匿的生命史》一书[注]。确认极早期的化石的确为生命遗留的痕迹这一工作充满挑战性，有时候也会牵扯出大量的争论，上文提及的斯科普夫与布拉塞尔之间便产生了这样的争议。对于这场争论的一方观点可以在以下论文中查阅：M. D. Brasier et al., “Earth’s Oldest (c. 3.5Ga) Fossils and the ‘Early Eden Hypothesis’: Questioning the Evidence,”Origins of Life and Evolution of the Biosphere34 (2004): 257–60。就在我撰写本书的时候，关于最早生命化石的证据仍然充满争议，一个版本是斯科普夫在他的书里所讲到的，另一个版本就是布拉塞尔在他的那篇论文[注]中所论证的。

伽利略有对于生物体大小与引力之间关系的讨论，见于由斯提尔曼·德雷克[注]翻译，由史蒂芬·杰伊·古尔德、阿尔伯特·爱因斯坦以及海尔布隆[注]评注的巨著《两个世界体系的对话：托勒密与哥白尼》[注]。

关于列文虎克的故事引自克利福德·都贝尔的书《列文虎克和他的“小小动物”》[注]，对于列文虎克所用显微镜的描述则来自克莱尔·斯特朗的有关著作[注]。

在上文中提及的安德鲁·克诺尔所著《一颗年轻行星上的生命：地球上最初30亿年的演化史》一书中，对藻类以及地球大气中氧含量的上升有详尽的叙述。而氧气对于生物进化的重要意义以及生命史本身的话

题则在以下两本书中进行了探讨：尼克·莱恩所著的《氧气：造就世界的分子》[注]以及皮特·沃德所著的《源自稀薄大气：恐龙，鸟类及地球原始大气》[注]。近期对于地质历史上大气氧含量变化的简要介绍，可以参阅：R. A. Berner et al., “Phanerozoic Atmospheric Oxygen,”Annual Review of Earth and Planetary Sciences31 (2003): 105–34。

地球大气中氧含量的上升，即所谓的“大氧化事件”，并非是一条简单的上升曲线，而是在数亿年间逐渐发生的缓慢过程。关于这一课题的研究论文有很多，比如：L. R. Kump, “e Rise of Atmospheric Oxygen,”Nature451 (2007): 277–78；A. Bekker et al., “Dating the Rise of Atmospheric Oxygen,”Nature427 (2004): 117–20以及H. Holland, “e Oxygenation of the Atmosphere and Oceans,”Philosophical Transactions of the Royal Society B361 (2006): 903–15.

对于这样一个意义重大的转变，有很多理论试图解释其发生的原因。本书中提到的理论基于下面这篇论文中的观点：L. R. Kump and M. E. Barley, “Increased Subaerial Volcanism and the Rise of Atmospheric Oxygen 2.5 Billion Years Ago,”Nature448 (2007): 1033–37。

有关达灵顿和巴伯从屋顶上丢青蛙做实验的故事，在我20世纪80年代在那里读研究生的时候流传的一个传奇故事。而有关达灵顿教授的探险以及遭遇鳄鱼的故事，则见于美国国家科学院出版的，由其在哈佛大学的同事E.O. 威尔逊执笔的传记体回忆录中[注]。

本书中引用霍尔丹描述生物体型大小的论文，摘自其所著的《论合适的体型》一文[注]，最早出版于1926年，可在以下网址查到：hp://www.physlink.com/ Education/ essay_haldane.cfmm。

对于生物体型与其他生物学特性之间关系的研究，大家称其为“异速生长研究”（ allometry）。这一领域的著作浩如烟海，但以下一些评

论性文章可以让读者快速浏览其中的内容。在霍尔丹的论文之后，还有一篇非常有影响力的文章，由史蒂芬·杰伊·古尔德所写，写这篇文章的时候他还是一个学生。即便在45年后的今天，这篇文章也仍然是经典之作，它就是“Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny,”Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society41 (1966): 587–638。对于这一概念历史演变的介绍可以参阅噶杨的文章：J. Gayon, “History of the Concept of Allometry,”American Zoologist40 (2000): 748–58。针对这一领域的通俗全面的介绍，推荐阅读威廉·卡尔德的《体型、功能与生命史》㊟。著名生物学家约翰·泰勒-博纳㊟曾针对普通公众撰写过一部非常经典的著作，专门论述体型大小对生物体的影响，书名叫做《为何体型大小很重要：从细菌到蓝鲸》㊟。

对于小型生物在液体中移动所面临的挑战，在以下这篇论文中进行了讨论：E. M. Purcell, “Life at Low Reynolds Number,”American Journal of Physics45 (1977): 3–11；另一篇论文则探讨了体型大小对于我们能力的实现所具有的重要意义：F. W. Went, “e Size of Man,”American Scientist56 (1968): 400–413。

有关普里斯特·克劳德的全球视野，普通公众可以参阅他所写的《宇宙、地球与人类：宇宙简史》㊟。美国国家科学院出版的自传体回忆录中，记录了克劳德一生的事业轨迹和关于他的一些趣事，具体请参阅：Biographical Memoirs, vol. 67 (Washington, D.C.: National Academy Press, 1995)。

对于苍蝇体型大小控制因素的通俗论述，可以参见这篇论文：S. Oldham et al, “Genetic Control of Size inDrosophila,”Philosophical Transactions of the Royal Society B355 (2000): 945–52。

而对于控制体型大小的基因在苍蝇以及人体内的相似性，有关论述可以参阅《细胞》杂志上的一篇论文：J. Dong et al., “Elucidation of a

Universal Size-ControlMechanism inDrosophilaand Mammals,”Cell130 (2007): 1120–33。

体型大小的代价，尤其是在富氧的环境中面临的问题，可以参考以下的一系列文献：Q. Zeng and W. Hong, “e Emerging Role of the Hippo Pathway in Cell Contact Inhibition, Organ Size Control, and Cancer Development in Mammals,”Cancer Cell13 (2008): 188–92；D. Pan, “The Hippo Signaling Pathway in Development and Cancer,”Developmental Cell19, no. 4 (2010): 491–505；以及C. Badouel, A. Garg, and H. McNeill, “Herding Hippos: Regulating Growth in Flies and Man,”Current Opinion in Cell Biology21, no. 6 (2009): 837–43。

第六章 串联线索

板块构造理论的构建是全球各地许多科学家们共同努力的结果。关于这一理论的发展史，有一些非常好的论著，这里推荐其中的一部分：纳奥米·奥莱斯基等人写的《板块构造理论：现代地球理论史》[注]以及《拒绝大陆漂移：美国地球科学界的理论与方法》[注]，还有大卫·劳伦斯所写的《自海底上升：洋底勘探与地学革命》[注]。

爱德华·修斯的引语以及生平故事摘自他的讣告，这份讣告由美国地学界的领军人物之一、耶鲁大学教授查尔斯·斯切特[注]执笔，当时发表在1914年的《科学》杂志上[注]。

有关阿尔弗雷德·魏格纳的生平、工作及影响，在罗杰·迈科伊的作品中进行了探讨[注]。

玛丽·萨普在口述历史项目中评价了自己的工作，有关这一项目的详情，请访问以下网址查阅：hp://www.aip.org/ history/ ohilist/

22896_1..html。

对板块构造理论来说，还有一本书非常重要：《地球新观》注。尽管撰写于30多年前，仍不失为一部经典著作，其中的详细论述可作为这一章的扩展阅读。同样推荐读者阅读这本《全球构造》注。

本节提到的弗里德里克·维恩的论文具体为：F. J. Vine and D. H. Matthews, “Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges,”Nature199 (1963): 947–49。

关于约翰·图佐-威尔逊的简单介绍，请参阅以下网址：hp:///gsahist.org/ gsat/ gt01sept24_25.htm。如果读者希望进一步了解本章节所涉内容，可以查阅：J. T. Wilson, “A Revolution in Earth Science,”Geotimes13 (1968): 10–16以及J. T. Wilson, “Did the Atlantic Close and en Re-open??”Nature211 (1966): 676–81。你还可以在线观看威尔逊自己谈论有关裂谷的视频，网址是：hp://www.youtube..com/ watch?v=OmrXy65O6fY，另外还有他谈论科学方面的一些观点：hp://www.youtube.com/ watch?v=fdSwEFyurDY。

有关哺乳动物生物学（胚胎、体型以及新陈代谢）以及板块构造运动之间的关联，这一观点可以在保罗·福柯斯基和同事们发表的一篇论文中找到：P. Falkowski et al., “e Rise of Oxygen over the Past 205 Million Years and the Evolution of Large Placental Mammals,”Science309 (2005): 2202–4。对于地质历史时期氧气对于生命的其他方面的影响，请参阅前文提到过的皮特·沃德所著《源自稀薄大气：恐龙，鸟类及地球原始大气》，也可以参阅以下这篇论文：Berner et al., “Phanerozoic Atmospheric Oxygen”，来了解氧气与其他行星机制之间的联系。

第七章 山顶的主人

威廉·史密斯、他的地图以及他为此付出的巨大努力都被记载在西蒙·威切斯特所著的《改变世界的地图》一书中㊟。有关约翰·菲利普斯的思想与工作，可以参见杰克·莫里尔所著的《约翰·菲利普斯与维多利亚时代的科学》㊟。同时也推荐查阅约翰本人所写的《地质学论文集》㊟，从中了解其所作的第一手的记载。

想要一站式了解居维叶的思想与他的著作，请查阅鲁德维克的专著《乔治·居维叶、化石骨骼与地质灾难：原始手稿新译》㊟。

在“灭绝”这一概念的演变史方面，有很多广为阅读的著作，如沃尔特·阿尔瓦雷茨写的《暴龙与末日陨坑》㊟、大卫·塞普柯斯基等人写的《古生物学革命》㊟，以及鲁德维克所写的《化石的意义：古生物历史的片段》㊟。

对诺曼·奈维尔研究生涯的详细介绍摘自《古生物学杂志》上刊登的他的讣告㊟。他有关灭绝现象的论文包括：“Crises in the History of Life,”Scientic American208 (1963): 76–922以及“Mass Extinctions at the End of theCretaceous Period,”Science149 (1965): 922–24，等等。

50卷的鸿篇巨制《无脊椎古生物学论文集》至今仍能在堪萨斯大学古生物学研究院查阅，请访问该研究院网页：hp://paleo..ku.edu/ pdf/brochure.pdf。

奈维尔是当时少数几位大声呼吁正视大灭绝事实的科学家之一。跟他站在同一战壕的还有奥托·欣德沃尔夫㊟，具体可参见他的著作㊟。

有关大撞击假说以及撞击标志白垩纪结束的理论，可以参见阿尔瓦雷茨专门为普通读者撰写的《暴龙与末日陨坑》一书。最初发表的关于这一理论的论文是：L. W. Alvarez et al., “Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Boundary Extinction,”Science208 (1980): 1095–108。

地质历史记录中其他的几次大灭绝事件可能并非是由撞击事件引起的。如果读者想要了解有关其他几次大灭绝事件的细节，以下是推荐的一系列专著：米歇尔·本顿《当生命几乎消亡：历史上的大灭绝事件》；道格拉斯·埃尔文《大灭绝：生命在2.5亿年前为何几乎消亡？》；乔治·迈克格里《晚泥盆纪大灭绝》；大卫·拉普《天谴：恐龙的灭绝与科学的方式》；皮特·沃德《时间长河》。

关于在伍兹霍尔研究所召开的那次会议，以及期间斯科普夫、古尔德和塞普柯斯基等人的互动，参见前文所提到的《古生物学革命》。

本章节所提到的由塞普柯斯基构建的数据库的详细内容请参见：J. John Sepkoski Jr.,A Compendium of Fossil Marine Animal Genera, Bulletins of American Paleontology, 364 (Ithaca, N.Y.: Paleontological Research Institution, 2002),hp://strata.geology.wisc.edu/ jack//。

塞普柯斯基的数据库揭示出了海洋生命历史中隐藏的模式。有关这方面的介绍，可以查阅以下一系列论文：J. J. Sepkoski Jr., “Patterns of Phanerozoic Extinction: A Perspective from Global Data Bases,” inGlobal Events and Event Stratigraphy, ed. O. H. Walliser (Berlin: Springer, 1996), 35–51； D. M. Raup and J. J. Sepkoski Jr., “Mass Extinctions in the Marine Fossil Record,”Science215 (1995): 1501–3，以及D. M. Raup and J. J. Sepkoski Jr., “Periodicity of Extinctions in the Geologic Past,”PNAS81 (1984): 801–5。

大卫·奎曼在英国《独立报》上发表的文章，是对大卫·雅布隆斯基的工作很好的介绍。本章节中所引述的雅布隆斯基本人的研究论文包括以下这几篇：“Heritability at the Species Level: Analysis of Geographic Ranges of Cretaceous Mollusks,”Science238 (1987): 360–63；D. Jablonski and G. Hunt, “Larval Ecology, Geographic Range, and SpeciesSurvivorship in Cretaceous Mollusks: Organismic vs. Species-Level

Explanations,”American Naturalist168 (2006): 556–64；D. Jablonski,“Extinction and the Spatial Dynamics of Biodiversity,”PNAS105, no. S1 (2008): 11528–35，以及D. Jablonski, “Lessons from the Past: Evolutionary Impacts of Mass Extinctions,”PNAS98 (2001): 5393–98。

关于在白垩纪大灭绝之后地球生态位出现虚空，并由此为哺乳动物的大发展创造了条件这一观点，在最近的一篇文章中得到了支持，请参阅：R. W. Meredith et al., “Impacts of the Cretaceous Terrestrial Revolution and KPg Extinction on Mammal Diversication,,”Science334 (2010): 521–24。

第八章 冷暖交替

保罗·塔基在北极的那次历史性飞行可见于当年的新闻报道[注]。而与这一发现相关的研究论文则有很多，这里列出其中的一部分：J. F. Basinger, “Early Tertiary Floristics and Paleoclimate in the Very High Latitudes,”American Journal of Botany76, no. S6 (1989): 158；J. F. Basinger, “The Fossil Forests of the Buchanan Lake Formation (Early Tertiary), Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago: Preliminary Floristics and Paleoclimate,” inTertiary Fossil Forests of the Geodetic Hills, Axel Heiberg Island, Arctic Archipelago, Geological Survey of Canada Bulletin no. 403, ed. R. L. Christie and N. J. McMillan (Ottawa: Geological Survey of Canada, 1991), 39–65；D. R. Greenwood and J. F. Basinger, “The Paleoecology of High-Latitude Eocene Swamp Forests from Axel Heiberg Island, Canadian High Arctic,”Review of Palaeobotany and Palynology81, no. 1 (1994): 83–97；D. R. Greenwood and J. F. Basinger, “Stratigraphy and Floristics of EoceneSwamp Forests from Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago,”Canadian Journal of Earth Sciences30, no. 9 (1992):

1914–23；B. A. Lepage and J. F. Basinger, “Early Tertiary Larix from the Buchanan Lake Formation, Canadian Arctic Archipelago, and a Consideration of the Phytogeography of the Genus,” in Christie and McMillan,Tertiary Fossil Forests of the Geodetic Hills, 67–82。

科伯特在南极的发现同样得到了当时新闻界的广泛报道，参见《时代周刊》的相关报道《冈瓦纳大陆的新生命》[注]。你也可以在网上直接听科伯特自己讲述他在南极的工作，网址是：hp://www..youtube.com/watch?v=UNe5SGkQP7Q。关于在南极洲发现水龙兽的详细情况，可以参见科伯特所写的《南极洲的水龙兽》[注]。

“弱早期太阳佯谬”（ eFaint Young Sun Paradoxx）的理论最早是由卡尔·萨根与乔治·马伦开始探讨的，相关论文是：C. Sagan and G. Mullen,“Earth and Mars: Evolution of Atmospheres and SurfaceTemperatures,”Science177 (1972): 52–56。

一系列有关碳循环、气候以及大气方面的经典论文，包括斯凡特·阿伦尼斯1896年的那篇经典文章，都被收录在了大卫·阿彻等人编纂的《全球变暖论文集》中[注]。

本章节中所提及的那篇叫做“BLaG”的文章，是指R. A. Berner, A. C. Lasaga, and R. M. Garrels, “The Carbonate-Silicate Geochemical Cycle and Its Effect onAtmospheric Carbon Dioxide over the Past 100 Million Years,”American Journal of Science283 (1983): 451–73。对这篇论文进行探讨的文章有很多，比如J. C. G. Walker, P. B. Hays, and J. F. Kasting, “A Negative Feedback Mechanism for the Long-Term Stabilization of Earth’s Surface Temperature,”Journal of Geophysical Research86 (1981): 9776–82。后人进一步改进了这个模型，并发表了结果：R. A. Berner and Z. Kothavala, “Geocarb III: A Revised Model of Atmospheric CO_2over Phanerozoic Time,”American Journal of Science301 (2001): 182–204。

莫里恩·莱默和她的合著者鲁迪曼（W. F. Ruddiman）以及弗罗利希（P. N. Froelich）发表了一系列文章，论述了地形隆升对地球模式造成的影响。这一理论在学界引发了争议。她们发表的文章包括：M. E. Raymo, W. F. Ruddiman, and P. N. Froelich, “Influence of Late Cenozoic Mountain Building on Ocean Geochemical Cycles,”Geology16 (1988): 649–53；M. E. Raymo and W. F. Ruddiman, “Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate,”Nature359 (1992): 117–22；M. E. Raymo, “The Himalayas, Organic Carbon Burial, and Climate in the Miocene,”Paleoceanography9 (1994): 399–404。这一观点有着深刻的历史根基，部分可以追溯到19世纪张伯伦(注)的工作：T. C. Chamberlin, “An Aempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis,”Journal of Geology7 (1899): 545–84, 667–85, 751–87。同样推荐读者阅读的是由莱默所写的评论文章：M. E. Raymo, “Geochemical Evidence Supporting T. C. Chamberlin's Theory of Glaciation,”Geology19 (1991): 344–47。如果想比较全面地了解不同视角的观点，可以参阅W. F. Ruddiman, ed.,Tectonic Upli and Climate Change(New York: Plenum Press, 1997)，以及J. C. Zachos and L. R. Kump, “Carbon Cycle Feedbacks and the Initiation of Antarctic Glaciation in the Earliest Oligocene,”Global and Planetary Change47 (2005): 51–66。

近几年也有一些文章试图将所有这些线索串联起来，如：C.Garzione,“Surface Uplift of Tibet and Cenozoic Global Cooling,”Geology36 (2008): 1003–4。想要了解从地球化学角度探讨莱默理论的文献，可以参阅S. E. McCauley and D. DePaolo, “e Marine87Sr/86Sr and d18O Records, Himalayan Alkalinity Fluxes and Cenozoic Climate Models,”in Ruddiman,Tectonic Uplift and Climate Change, 428–65。

有关二氧化碳随时间变化的经典图例见于R. A. Berner, “Atmospheric Carbon Dioxide Levels over Phanerozoic Time,”Science249,

no. 4975 (1990): 1382–86。

在大约4500万年前，地球经历了一段短暂的高温时期，即所谓“古新世-始新世最热事件”（PETM）。对这一时期的植物、大气二氧化碳含量以及其他方面的研究非常热门，也发表了大量的研究论文，如F. A. McInerney and S. L. Wing, “e Paleocene--Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Biosphere with Implications for the Future,”Annual Review of Earth and Planetary Sciences39 (2011): 489–516；A. Sluija et al., “Subtropical ArcticOcean Temperatures During the Palaeocene/Eocene ermal Maximum,,”Nature441 (2006): 610–13；J. C. Zachos et al., “A Transient Rise in Tropical Sea Surface TemperatureDuring the Paleocene-Eocene Thermal Maximum,”Science302 (2003): 1151–54；J. P. Kennett and L. D. Stott, “Abrupt Deep-Sea Warming, Palaeoceanographic Changes, and Benthic Extinctions at the End of the Palaeocene,”Nature353 (1991): 225–29；S. L. Wing et al., “Coordinated Sedimentary and Biotic Change During the Paleocene-Eocene Thermal Maximum in the Bighorn Basin, Wyoming, USA,”inConference Programme and Abstracts: CBEP 2009, Climatic and Biotic Events of the Paleogene, 12–15 January 2009, Wellington, New Zealand, ed. C. P. Strong, Erica M. Crouch, and C. J. Hollis (Lower Hutt, N.Z.: Institute of Geological and Nuclear Sciences, 2009), 156–62。

对海洋循环新模式与南极洲气候之间关系的论文，推荐阅读肯涅特的文章：J. P. Kennett, “Cenozoic Evolution of Antarctic Glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and Their Impact on Global Paleoceanography,”Journal of Geophysical Research82 (1977): 3843–60。而南极洲的冰冻及其与大洋环流模式变化之间的关系，则是下面这篇文章探讨的课题：J. Anderson et al., “Progressive Cenozoic Cooling and the Demise of Antarctica's Last Refugium,”PNAS108 (2011): 11356–60。

纳撒尼尔·多米尼探讨视觉与食物之间联系的论文包括：N. Dominy and P. W.Lucas, “Ecological Importance of Trichromatic Vision to Primates,”Nature410 (2001): 363–66；N. Dominy, “Fruits, Fingers, and Fermentation: The Sensory Cues Available to Foraging Primates,”Integrative and Comparative Biology44 (2004): 295–303；N. Dominy and P. W. Lucas, “Signicance of Color, Calories, and Climate to the Visual Ecology of Catarrhines,”American Journal of Primatology62 (2004): 189–207。

多米尼与同事们设计的野外设备背包，在这篇论文中有所描述：P. W. Lucas et al., “Field Kit to Characterize Physical, Chemical, and Spatial Aspects of Potential Primate Foods,”Folia Primatologica72, no. 1 (2001): 11–25。

第九章 冰冷事实

想了解“冰虫项目”、“世纪营”等军事项目的历史，请参阅E. D. Weiss, “Cold War Under the Ice: e Army's Bid for aLong-Range Nuclear Role, 1959–1963,”Journal of Cold War Studies3, no. 3 (Fall 2001): 31–58。

对冰期的成因以及隐藏在冰雪中气候模式记录的发现，是很多面向公众的科学作品的主题，如约翰·艾伯里等人的《探寻冰期之谜》㊟、理查德·艾里的《两英里长的时间机器：冰芯、气候突变以及我们的未来》㊟以及麦克道格尔所著的《冰冻地球：过去与未来的冰期》㊟——这三本书是科学写作中的经典作品：权威、有趣且内涵丰富。在对这些冰芯——也就是在艾里在《两英里长的时间机器》一书中描述的那些——进行详细分析之后，科学家们识别出了一系列复杂的周期与海洋事件，并为每一个都命了名：丹斯果-奥什格尔周期（Dansgaard-Oeschger cycles）、邦德周期（Bond cycles）、海因里克事件（Heinrich events），以及迈克阿叶周期（MacAyeal cycles）。冰川、海洋环流以

及盛行风的变化会让气候可以发生剧烈的波动。得益于分辨率越来越高的数据，地质学家们能够对海洋与冰川正在发生的物理或化学变化进行监视，我们对于全球气候及其与其他因素之间关系的了解也因此不断深入。

冰期对人类历史一个方面的影响在布莱恩·法冈的《小冰期：气候如何造就文化，公元1300~1850》一书[注]中得到了探讨。关于冰期如何对自然景观和生命造成影响，可以参阅佩里奥的书《冰期之后：北美大陆生命的回归》[注]。

麦克道格尔在经典作品《自然的时钟》一书中对利比与尤里的工作进行了总结。

有关多萝西·加拉德的记述可以参阅以下文献：P. J. Smith, “Dorothy Garrod as the First Woman Professor at Cambridge University,”Antiquity74 (2000): 131–36。

关于气候转变以及纳图夫文明对农业发展所产生的影响是一个颇具争议的话题，这方面比较经典的论述可见于以下文章：O. BarYosef, “The Natufian Culture in the Levant, Threshold to the Origins of Agriculture,”Evolutionary Anthropology6, no. 5 (1998): 159–77以及O. Bar-Yosef and A. Belfer-Cohen, “e Origins of Sedentism and Farming Communities in the Levant,”Journal of World Prehistory3 (1989): 447–98。其他观点，包括一些完全相反的观点，见于M. Balter, “e Tangled Roots of Agriculture,”Science327 (2010): 404–6。

有关我们的饮食习惯，尤其是农业的出现对我们的基因结构所产生的影响，这方面的内容在斯潘塞·威尔斯的书《潘多拉的种子：文明未曾预见的代价》[注]中得到了探讨。乔纳森·皮卡德对人类基因选择的相关论述可以参见B. F. Voight, S. Kudaravalli, X. Wen, and J. K. Pritchard, “A Map of Recent Positive Selection in the Human Genome,”PLoS

Biology4, no. 3 (2006)。同时也推荐阅读以下文章：P. Sabetiet al., “Genome-wide Detection and Characterization of Positive Selection in Human Populations,”Nature(2007): 913–88，以及D. J. Wilson et al., “A Population Genetics-Phylogenetic Approach to Inferring Natural Selection in Coding Sequences,”PLoS Genetics7, no. 12 (2011)。

第十章 创新之源

有关气候转变对人类的诞生与早期演化的影响，可见于美国国家研究委员会的相关报告《理解气候对人类演化的影响》(注)。这份报告中涵盖了大量有关气候重建的内容。另外也推荐阅读以下论文：T. E. Cerling et al., “Woody Cover and Hominin Environments in the Past 6 Million Years,”Nature476 (2011): 51–56。

在乍得发现的人类化石在以下论文中进行了报道：M. Brunet, “A New Hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa,”Nature418 (2002): 145–51以及M. Brunet et al., “New Material of the Earliest Hominid from the Upper Miocene of Chad,”Nature434 (2005): 752–55。近年发表的一篇对肯尼亚早期人类祖先两足行走行为的分析报告，见于B. Richmond et al., “Orrorin tugenensisFemoral Morphology and the Evolution of Hominin Bipedalism,”Science319, no. 5870 (2008): 1662–65。有关古代人类化石记录的通俗科学作品，推荐安·吉布斯写的《最早的人类》(注)以及唐纳德·乔纳森的《露西的遗产：对人类起源的探寻》(注)。

罗伯特·莫顿对发明创新的观点见于：R. K. Merton, “Singletons andMultiples in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science,”Proceedings of the American Philosophical Society105, no. 5 (1961): 470–86以及R. K. Merton, “Priorities in Scientic Discovery: A Chapter in the Sociology of Science,”American Sociological Review22, no. 6

(1957): 635–59。

“施蒂格定律”的内容见于Stephen Stigler, “Stigler's Law of Eponymy,”inScience and Social Structure: A Festschrift for Robert K. Merton, ed. omas F. Gieryn (New York: New York Academy of Sciences, 1980), 147–58。

想要了解植物如何影响生命演化的历史，请参阅大卫·贝灵的《翡翠星球：植物如何改变地球历史》[注]，以及威廉·贝格的《改变世界的花》[注]。

史蒂芬·斯特恩斯对近代人类选择方面的研究工作可参见以下文献：S. C. Stearns et al., “Measuring Selection in Contemporary Human Populations,”Nature Reviews Genetics11 (2010): 611–22。

---

1. Cosmos（Ballantine Books，1985）；中文版：《宇宙》，吉林人民出版社，1998
2. Lawrence Krauss- Atom: A Single Oxygen Atom's Journey from the Big Bang to Life on Earth...and Beyond（Boston:Backbay Books，2002）；中文版：《一颗原子的时空之旅》，中信出版社，2003
3. Neil deGrasse Tyson &Donald Goldsmith-Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution（New York: Norton, 2005）；中文版：《万物起源》，江苏科学技术出版社，2013
4. Richard Fortey- Earth: An Intimate History (New York: Knopf，2002)；中文版：《生命简史》，中央编译出版社，2009
5. Tim Flannery- Here on Earth: A Natural History of the Planet (New York, Atlantic Monthly Press，201 1)
6. Michael Novacek- Terra: Our 100-Million-Year- Old Ecosystem——and Put It at Risk（New York: Farrar, Straus and Giroux，2007）
7. Curt Stager- Deep Future: The Next 100000 Years of Life on Earth（Thomas Dunne Books，201 1）
8. Richard Dawkins- The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Life（New York，Mariner Books，2005）；中文版：《祖先的故事：生命起源的朝圣之旅》，江苏科学技

术出版社，2010

9. Andrew Knoll- Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth (Princeton University Press，2004)

10. Brian Switek- Written in Stone: Evolution, the Fossil Record, and Our Place in Nature（New York，Bellevue Literary Press, 2010）

11. Marcia Bjornerud- Reading the Rocks: The Autobiography of the Earth(New York: Basic Books, 2005)

12. Walter Alvarez，The Mountains of St. Francis: Discovering the Geological Events That Shaped the Earth(New York: Norton, 2008)

13. 拉斯·克莱蒙森（Lars Clemmensen），丹麦沉积学家，哥本哈根大学教授。

14. 罗塞塔石碑（Rosetta stone），是一块制作于公元前196年的大理石石碑，上面刻有古埃及法老托勒密五世的诏书。由于其使用三种不同语言描述相同内容，因而让古文字学家得以破译早已失传的古埃及文字。因此后来也将“罗塞塔石碑”表示解决一个谜题或困难事物的关键线索或工具。

15. “军队是靠胃行军的”，Armies run on their stomachs。

16. SanMarzano番茄，一种产自意大利平原地带的高档番茄。

17. 鸡肉马沙拉（chicken marsala），一种意大利菜肴，用鸡肉，蘑菇和意大利产的马沙拉酒配成；火鸡肉苔托基尼（turkey tetrazzini），一种美式菜肴，常用火鸡肉、蘑菇、杏仁搭配黄油或奶酪，以及一些蔬菜，如洋葱、芹菜、胡萝卜等，搭配红酒或雪莉酒配成。

18. Chet Raymo and Maureen E. Raymo- Written in Stone(Hensonville, N.Y.: Black Dome Press, 2007)。

19. Edwin H. Colbert,Men and Dinosaurs(New York: E. P. Dutton, 1968)。

20. Zoa Kielan-Jaworowska, Richard L. Cifelli, and Zhe-Xi Luo,Mammals from the Age of Dinosaurs: Origins, Evolution, and Structure(New York: Columbia University Press, 2004)。

21. Z.-X. Luo, “Commentary on Mammalian Dental Evolutionary Development,”Nature465 (2010): 669

22. Robert W. Sterner and James J. Elser,Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere(Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2002)

23. E. O. Wiley et al.,The Compleat Cladist: A Primer of Phylogenetic Procedures, special publication No. 19 (Lawrence: University of Kansas, Museum of Natural History, 1991),http://www.archive.org/ stream/ compleatcladistp00wile#page/ n5/ mode/ 2up.

24. E. C. Pickering, “Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud,”Harvard

College Observatory Circular173 (1912): 1–3.

25. Nina Byers and Gary Williams, eds.,Out of Shadows: Contributions of Twentieth-Century Women to Physics(New York: Cambridge University Press, 2006)

26. Jacob Darwin Hamblin,Science in the Early Twentieth Century: An Encyclopedia(Santa Barbara, Calif.: ABC-CLIO, 2005), 181–84.

27. Simon Singh,Big Bang: The Origin of the Universe(New York: HarperCollins, 2005)

28. Steven Weinberg,The First Three Minutes, updated ed. (New York: Basic Books, 1993)

29. Richard Rhodes,Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb(New York: Simon & Schuster, 1995)

30. R. M. Canup, “Accretion of the Earth,”Philosophical Transactionsof the Royal Society A366 (2008): 4061–75

31. Icarus: The International Journal of Solar System Studies

32. Harry McSween- to Planets: A Geological Tour of the Solar System(New York: St. Martin’s Press, 1993)

33. J. Kelly Beatty, Carolyn C. Petersen, and Andrew Chaikin,The New Solar System, 4th ed. (Cambridge, Mass.: Sky Publishing, 1999)

34. G. MacPherson and M. H. Thiemens, “Cosmochemistry: Understanding the Solar System Through Analysis of Extraterrestrial Materials,”PNAS108 (201 1): 19130–34

35. G. Brent Dalrymple,The Age of the Earth(Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1991).

36. G. B. Dalrymple, “The Age of the Earth in the Twentieth Century: A Problem (Mostly) Solved,” inThe Age of the Earth: From 4004B.C.toA.D.2002, Geological Society, London, Special Publication 190, ed. C. L. E. Lewis and S. J. Knell (London: Geological Society, 2001), 205–21.

37. J. W. Valley, W. H. Peck, and E. M. King, “Zircons Are Forever,”Outcrop, University of Wisconsin-Madison Geology Alumni Newsletter (1999), 34–35.

38. Martin Van Kranendonk, R. Hugh Smithies, and Vickie C. Bennett, eds.,Earth’s Oldest Rocks(Boston: Elsevier, 2007)

39. Doug Macdougall,Nature’s Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything(Berkeley: University of California Press, 2008)

40. F. Albarede, “Volatile Accretion History of the Terrestrial Planets and Dynamic Implications,”Nature461 (2009): 1227–33.

41. Anthony Aveni- Empires of Time: Calendars, Clocks, and Cultures(Boulder: University of

Colorado Press, 2002)

42. Robert Levine,A Geography of Time: On Tempo, Culture, and the Pace of Life(New York: Basic Books, 1998)

43. Michel Siffre- Beyond Time(New York: McGraw-Hill, 1964)

44. Biographical Memoirs, vol. 65 (Washington, D.C.: National Academy Press, 1994),http://www.nap.edu/ catalog.php?record_id=4548

45. Jonathan Weiner- Time, Love, and Memory: A Great Biologist and His Quest for the Origins of Behavior(New York: Vintage, 2000)

46. The Living Clock(Oxford: Oxford University Press, 2002)

47. Meir H. Kryger, Thomas Roth, and William C. Dement, Principles and Practice of Sleep Medicine(Philadelphia: Saunders, 2005)

48. B. W. Flemming and A. Bartholomä,Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments(Oxford: Blackwell Science, 1995)

49. Biographical Memoirs, vol. 87 (Washington, D.C.: National Academy Press, 2005),http://www.nap.edu/ html/ catalog.php?record_id=1 1522

50. J. William Schopf,Cradle of Life(Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2001)

51. Martin Brasier,Darwin's Lost World: The Hidden History of Animal Life(Oxford: Oxford University Press, 2009)

52. D. Wacey et al., “Microfossils of Sulphu r-Metabolizing Cells in 3.4-Billion-Year-OldRocks of Western Australia,”Nature Geoscience(201 1), doi:10.1038/ngeo1238

53. 斯提尔曼·德雷克（Stillman Drake，1910~1993），加拿大科学史专家，以研究伽利略著称。

54. 海尔布隆（J.L. Heilbron，1934~），美国科学史专家，以对物理学史与天文学史的研究著称。

55. Dialogue Concerning the Two Chief World Systems: Ptolemaic and Copernican(New York: Modern Library, 2001)

56. Clifford Dobell, ed.,Antony van Leeuwenhoek and His “Little Animals”(New York: Dover, 1960)

57. Clair L. Stong,The “Scientific American” Book of Projects for the Amateur Scientist(New York: Simon & Schuster, 1960)

58. Nick Lane,Oxygen: The Molecule That Made the World(Oxford: Oxford University Press,2003)

59. Peter D. Ward,Out of Thin Air: Dinosaurs, Birds, and Earth’s Ancient

Atmosphere(Washington, D.C.: Joseph Henry Press, 2006)

60. Biographical Memoirs, vol. 60 (Washington, D.C.: National Academy Press, 1991),http://www.nap.edu/ catalog.php?record_id=6061

61. 《论合适的体型》（On Being the Right Size）

62. William A. Calder- Size, Function, and Life History (Mineola, N.Y.: Dover, 1996)

63. 约翰·泰勒-博纳（John Tyler Bonner，1920~），美国生物学家，普林斯顿大学荣誉退休教授。

64. Why Size Matters: From Bacteria to Blue Whales, rev. ed. (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 201 1)

65. Cosmos, Earth, and Man: A Short History of the Universe(New Haven, Conn.: Yale University Press, 1980)

66. Naomi Oreskes and H. E. Le Grand, eds.,Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth(Boulder, Colo.: Westview Press, 2003)

67. Naomi Oreskes,The Rejection of Continental Drift: Theory and Method inAmerican Earth Science(New York: Oxford University Press, 1999)

68. David M. Lawrence,Upheaval from the Abyss: Ocean Floor Mapping and the Earth Science Revolution(New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 2002).

69. 查尔斯·斯切特（Charles Schuchert，1858~1942），美国无脊椎古生物学家。

70. 该讣告见于Science, June 26, 1914, 933–35

71. Roger M. McCoy,Ending in Ice(Oxford: Oxford University Press, 2006)

72. Seiya Uyeda,The New View of the Earth(San Francisco: W. H. Freeman, 1978)

73. Philip Kearey and Frederick J. Vine,Global Tectonics(London: Blackwell Science, 1996)

74. Simon Winchester,Map That Changed the World(New York: Viking, 2001)

75. Jack Morrell,John Phillips and the Business of Victorian Science(London: Ashgate, 2005)

76. Treatise on Geology(Surrey: Ashgate Media, 2001)

77. M. J. S. Rudwick,Georges Cuvier, Fossil Bones, and Geological Catastrophes: New Translations and Interpretations of the Primary Texts(Chicago: University of Chicago Press, 1999)

78. Walter Alvarez,T. rex and the Crater of Doom(New York: Vintage, 1999)

79. David Sepkoski and Michael Ruse, eds.,The Paleobiological Revolution(Chicago: University of Chicago Press, 2009)

80. M. J. S. Rudwick,The Meaning of Fossils: Episodes in the History of

Paleontology(Chicago: University of Chicago Press, 1985)

81. Journal of Paleontology80 (2006): 607–8

82. 奥托·欣德沃尔夫（Otto Schindewolf，1896~1971），德国古生物学家

83. Otto Schindewolf- “Über die möglichen Ursachen der grossen er d ge s chi ch t li chen Faunen s ch ni t te,”Neue s Ja h r bu ch für Geo lo gie un d Palaöntologie. Monatshefte(1954): 457–65

84. Michael J. Benton,When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time(New York: Thames &Hudson, 2003)

85. Douglas H. Erwin,Extinction: How Life on Earth Nearly Ended 250 Million Years Ago(Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2008)

86. George R. McGhee,The Late Devonian Mass Extinction(New York: Columbia University Press, 1996)

87. David M. Raup,The Nemesis Affair: A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science(New York: Norton, 1999)

88. Peter D. Ward,Rivers in Time(New York: Columbia University Press, 2002)

89. David Quammen, “The Weeds Shall Inherit the Earth,”Independent(London), November 22, 1998, 30–39

90. M. Lemonick, C. Tower, and D. Webster, “Unearthing a Fossil Forest,”Time, September 22, 1986

91. “New Life for Gondwanaland,”Time, March 22, 1968

92. E. Colbert, “Lystrosaurusfrom Antarctica,”American Museum Novitates2535 (1974): 1–44, http://digitallibrary.amnh.org/ dspace/ bitstream/ handle/ 2246/ 5462//v2/ dspace/ ingest/ pdfSource/ nov/ N2535.pdf?sequence=1.

93. David Archer and Raymond Pierrehumbert, eds.,The Warming Papers(Hoboken, N.J.: Wiley-Blackwell, 201 1)

94. 张伯伦（Thomas Chrowder Chamberlin，1843~1928），美国地质学家，教育家。《Journal of Geology》杂志创办人。

95. John Imbrie and Katherine Palmer Imbrie,Ice Ages: Solving the Mystery(Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1986)

96. Richard B. Alley,The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future(Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2002)

97. Doug Macdougall,Frozen Earth: The Once and Future Story of Ice Ages(Berkeley: University of California Press, 2006)

98. Brian Fagan,The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850(NewYork: Basic Books, 2001)

99. E. C. Pielou,After the Ice Age: The Return of Life to Glaciated North America(Chicago, University of Chicago Press, 1991)

100. Spencer Wells,Pandora's Seed: The Unforeseen Cost of Civilization(New York: Random House, 2010)

101. National Research Council and Committee on the Earth System Context for Hominin Evolution,Understanding Climate's Influence on Human Evolution(Washington, D.C.: National Academies Press, 2010), http://www.nap.edu/ catalog.php?record_id=12825#toc

102. Ann Gibbons,The First Human(New York: Doubleday, 2006)

103. Donald C. Johanson and Kate Wong,Lucy's Legacy: The Quest for Human Origins(New York: Harmony Books, 2009)

104. David Beerling,The Emerald Planet: How Plants Changed Earth's History(Oxford: Oxford University Press, 2007)

105. William C. Burger,Flowers: How They Changed the World(Amherst, N.Y.: Prometheus Books, 2006)

插图目录

除非专门标注，本书所有插图均由Kalliopi Monoyios女士绘制

1-2 格陵兰考察队员照片，由比尔·阿马拉尔提供，经许可使用

2-2 “哈佛计算机”照片，摄于1913年。哈佛大学天文台提供，经许可使用

3-1 绘架座β照片，版权属于欧洲南方天文台（ESO），根据知识共享署名许可（Creative Commons Aribution 3.0 Unported licensee）（hp://creativecommons.org/licenses/by/3.00）许可使用

3-3 此处展示地球岩层的照片由乔治·亚历山大·格兰特（George Alexander Grant）为美国国家公园管理署拍摄，地点为锡安峡谷(ZionCanyon)；火星照片摄于火星维多利亚陨石坑，版权：美国宇航局/喷气推进实验室（JPL）/康奈尔大学，公有领域图像

4-3 西莫尔·本泽尔的肖像照由加州理工学院档案馆提供，经许可使用

4-5 辛德奥斯坦的墓碑照片由印第安纳地质学会提供，经许可使用

5-1 埃尔索·巴洪的肖像照由哈佛大学出版社档案馆提供，经许可使用

5-2 Jan Verkolje所作列文虎克肖像，公有领域图像；列文虎克显微镜的示意图由佛罗里达州立大学迈克尔·戴维森（Michael W. Davidson）提供，经许可使用

5-3　伽利略的肖像画由帕西尼亚诺（Domenico Cresti da Passignano）所作，公有领域图像；伽利略1638年的作品插图，公有领域图像

5-4 普里斯特·克劳德的肖像照由加州大学圣巴巴拉分校戴维森图书馆特殊藏品部门提供，经许可使用

6-1 此处舌羊齿化石树叶的图像由瑞典自然历史博物馆提供，摄影师：Yvonne Arremo，经许可使用

6-2 魏格纳的肖像照由德国阿尔弗雷德·魏格纳学会提供，经许可使用

6-3 哈里·赫斯的肖像照由普林斯顿大学地球科学系提供，经许可使用

6-4 布鲁斯·希森与玛丽·萨普的照片选自玛丽·萨普的遗产，由Fiona Schiano-Yacopina提供，经许可使用

6-5 布鲁斯·希森与玛丽·萨普的海底地形图，由Heinrich Berann绘制，经许可使用

6-7　约翰·图佐-威尔逊肖像照由加拿大安大略科学中心（www.ontariosciencecentre.ca）提供，经许可使用

7-1 新斯科舍海岸风景照片，由作者本人拍摄

7-2 威廉·史密斯肖像画，由Hugues Fourau绘制，公有领域图像；约翰·菲利普斯的照片拍摄于1907年，公有领域图像；威廉·史密斯制作并于1815年出版的地图，公有领域图像

8-1 “木乃伊”森林的照片，摘自加拿大地质调查局编著《加拿大自

然资源2011》（拍摄者：Lyn Anglin）；而化石木头的照片摘自Kaelin et al., “Comparison of Vitried and Unvitried Eocene Woody Tissues by TMAH ermochemolysiss—Implications for the Early Stages of the Formation of Vitrinite,”Geochemical Transactions7 (2006): 9. 根据知识共享署名许可（Creative Commons Aribution 2.0 Unported license）（hp://creativecommons.org/licenses/by/2.00）许可使用

9-1 世纪营的照片摘自A. Kovacs, “Camp Century Revisited: A Pictorial View—1969,”Cold Regions Research and Engineering Laboratory Special Report150 (July 1970): 44, 49，公有领域图像

9-2 路易斯·阿加西斯1860年左右的肖像画，公有领域图像

9-3 詹姆斯·克洛尔肖像画由一名不知名的画家所作，刊载于《大众科学》（Popular Science），1897年8月刊，公有领域图像

9-4 米兰科维奇肖像画由Paja Jovanovic（1859–1957）所作，公有领域图像

9-7 多萝西·加拉德照片由Kennedy Shaw女士和她的女儿Caroline Burki女士提供，目前这张照片的所有人是Pamela Jane Smith，经许可使用